www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

JAARGANG 22, 1960, no. 1 blz. 1-36 Verschenen 14 mei 1960

15407

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELEND TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUKTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

EEN GEHEUGENWIEL VOOR MAGNETISCHE REGISTRATIE VAN TELEVISIEBEELDEN

door J. H. WESSELS. 621.397.6:621.395.625.3

Geruime tijd reeds kent men de magnetische registratie van signalen op de omtrek van een wiel of trommel, die daartoe van een magnetiseerbare laag is voorzien; herinnerd zij aan de wijze waarop geluidssignalen worden vertraagd — b.v. met als doel het scheppen van ambiofonie — en aan het magnetische geheugen van bepaalde elektronische rekenmachines. In het onderstaande artikel wordt beschreven hoe ook een televisiesignaal magnetisch op een wiel kan worden vastgelegd, waarna het geregistreerde een onbeperkt aantal malen kan worden gereproduceerd. Een belangrijke toepassing ligt waarschijnlijk op röntgenologisch gebied.

Magnetische registratie van televisiebeelden op band

Wanneer men zich bezint op de manier waarop een televisiebeeld magnetisch zou kunnen worden geregistreerd, dan valt het op dat signaalcomponenten met aanzienlijk hogere frequenties moeten worden opgetekend dan in het geval van geluidsregistratie. Bij geluid immers is de hoogste frequentie ca. 20 kHz, bij televisiebeelden (met 625 lijnen) moet men gaan tot ca. 5000 kHz.

Een sinusvormig elektrisch signaal wordt magnetisch op de band geregistreerd met een bepaalde golflengte. Tussen deze golflengte λ, de frequentie f en de schrijfsnelheid v_s (de snelheid van de band ten opzichte van de schrijfkop) bestaat de volgende betrekking:

$$v_s = \lambda f.$$

Om de schrijfsnelheid niet te groot te maken, zal men de kleinste golflengte λ_{min} zo klein mogelijk willen kiezen. Een benedengrens wordt aan λ_{min} gesteld door de kwaliteit van de weergave; deze neemt snel af wanneer λ_{min} beneden 5 μ daalt. Met $\lambda_{min} = 5\ \mu$ wordt bij $f = 5$ MHz de schrijfsnelheid $v_s = 25$ m/s. Staat de schrijfkop stil — zoals bij geluidsregistratie steeds het geval is —, dan is de schrijfsnelheid tevens de (absolute) snelheid van de *band*. Een bandsnelheid van 25 m/s heeft evidente bezwaren. Bij een bestaande methode van televisieregistratie op band [1]) is deze moeilijkheid omzeild, o.a. door de kop te laten roteren; de bandsnelheid kan dan aanzienlijk kleiner dan de schrijfsnelheid zijn.

Registratie op een geheugenwiel

Stelt men zich niet ten doel, een hele reeks televisiebeelden (een deel van een televisieprogramma b.v.) op band te registreren, doch slechts één of enkele televisierasters in een „geheugen" vast te leggen, dan kan men dit geheugen een vorm geven waarvoor de grote schrijfsnelheid geen bezwaar is. Wij bedoelen de vorm van een wiel, analoog met het vertragingswiel, zoals dat in de akoestiek wordt gebruikt voor ambiofonie en andere geluidseffecten [2]). De buitenomtrek van het wiel is voorzien van een laagje magnetiseerbaar materiaal, en op zeer kleine afstand ervandaan is een schrijfkop opgesteld, die in het geval van televisieregistratie tevens als leeskop dienst doet. Zulk een wiel — waarop wij naderhand uitvoerig terugkomen — kan men gemakkelijk een omtrekssnelheid van tientallen meters per seconde geven. Daarmee is een voldoend getrouwe weergave van de *hoge* frequenties mogelijk.

Een ernstiger moeilijkheid doet zich voor aan het andere eind van het spectrum, dat der *lage* frequenties. Bij $f = 100$ Hz b.v. en $v_s = 25$ m/s bedraagt de golflengte reeds 25 cm. Dit is veel meer dan de lengte l van de (lees)kop, die omstreeks 1 cm lang

[1]) C. P. Ginsburg, Comprehensive description of the Ampex video tape recorder, J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs. **66**, 177-182, 1957.

[2]) Philips techn. T. **17**, 224, 1955 en **20**, 279, 1958 (no. 9).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

is (*fig. 1*); het gevolg is dat de magnetische flux van de gemagnetiseerde laag — voor zover deze flux de lage frequenties belichaamt — niet meer zijn weg door de leeskop neemt, maar zich buiten deze kop om sluit. Bij dalende signaalfrequentie krijgt men dus niet alleen te maken met de bekende geleidelijke afneming van het uitgangssignaal van 6 dB per octaaf (doordat de golflengte groter wordt en de omvatte magnetische flux dus langzamer met de tijd gaat veranderen), maar bovendien, wanneer λ enige malen groter dan l wordt, met een zeer snel tot nul afnemen van genoemd signaal.

De moeilijkheid is dus dat bij televisieregistratie de verhouding van de hoogste tot de laagste signaalfrequentie bijzonder groot is (ca. 10^5, tegen 10^3 bij geluid). Dit bezwaar nu is te ondervangen door niet het videosignaal zelf te registreren, maar een „draaggolf" waarop het videosignaal is gemoduleerd, zoals uit het vervolg zal blijken.

Hier echter willen wij eerst vermelden dat men met rechtstreekse registratie (zonder modulatiesysteem dus) op een geheugenwiel toch nog wel resultaten kan krijgen die voor bepaalde doeleinden bruikbaar zijn. Zo hebben bezoekers van de Photokina 1958 te Keulen kunnen zien dat van personen die gevolg gaven aan de uitnodiging om zich in de Philipsstand te laten fotograferen, de beeltenis op hetzelfde ogenblik zichtbaar werd (en enige tijd

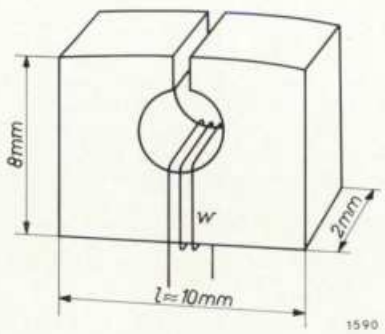


Fig. 1. Vorm en globale afmetingen van een schrijf- of leeskop, met schematisch getekende spoel w. De kern bestaat uit ferroxcube IV. De magnetiseerbare laag passeert in de richting van de lengtemaat l.

zichtbaar bleef) op televisieschermen. Een geheugenwiel had bij deze tentoonstellingsattractie een essentiële functie, zoals in het onderschrift van *fig. 2* is uiteengezet [3]).

In 1959 is het geheugenwiel gedemonstreerd op het 9de Internationale Congres voor Röntgenologie te München (zie het slot van dit artikel) en op de Salon voor Radio en Televisie te Brussel. Op laatst-

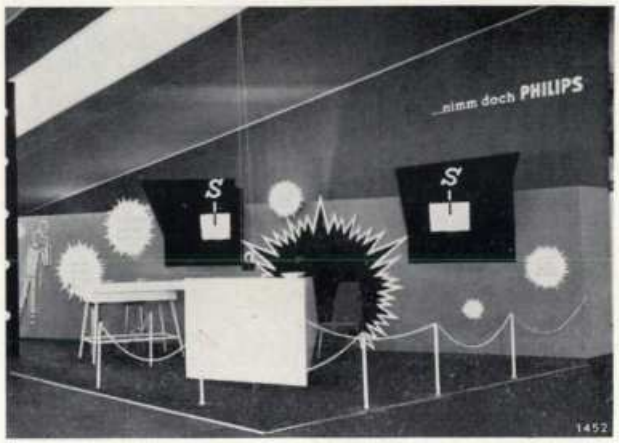


Fig. 2. Stand van Philips op de Photokina 1958 te Keulen. Personen uit het publiek werden in de gelegenheid gesteld, zich in de stand met behulp van een flitslamp te laten fotograferen en kregen later de foto thuisgestuurd. Tegelijk met het maken van de foto verscheen op de televisieschermen S een beeld van de persoon. Dit beeld bleef geruime tijd zichtbaar, ook nadat de persoon de stand weer had verlaten.

Hoe dit televisiebeeld ontstond, werd niet onthuld, maar zal velen geïntrigeerd hebben. Het ging als volgt. Als de persoon had plaats genomen voor de fotocamera, bevond hij zich ook in het gezichtsveld van een verdekt opgestelde televisiecamera. Het licht van de flitslamp maakte een fototransistor geleidend, wat tot gevolg had dat een relais werd bekrachtigd. Dit zorgde achtereenvolgens voor het wissen van het (onzichtbare) geheugenwiel, voor het schrijven van het nieuwe beeld en voor het lezen ervan [3]).

genoemde tentoonstelling zag het publiek op één televisietoestel een bewegend beeld van zichzelf, en op een ander toestel een stilstaand beeld. Het eerste toestel was rechtstreeks op een televisiecamera aangesloten, het tweede via een geheugenwiel.

Systeem met frequentiemodulatie

Om te ontkomen aan de moeilijkheid die verbonden is aan het registreren van een signaal met een frequentieverhouding van $10^5 : 1$, kan men dit signaal moduleren op een draaggolf. Het spectrum van de gemoduleerde draaggolf bezit dan een veel kleinere frequentieverhouding, zoals we aanstonds zullen laten zien.

Als modulatiesysteem is hier frequentiemodulatie aangewezen [4]). In vergelijking met amplitudemodulatie wordt namelijk bij frequentiemodulatie een bepaald soort ruis (modulatieruis) sterk onderdrukt, en is bovendien de ruis zo over het spectrum verdeeld dat er in een televisiebeeld veel minder hinder van wordt ondervonden. Deze beide redenen waarom frequentiemodulatie verre de voorkeur verdient, zullen we nu toelichten.

Het uitgangssignaal van een magnetogram zal

[3]) Zowel het denkbeeld als een deel van de technische uitvoering is te danken aan J. F. van Oort, van Philips' Tentoonstellingsdienst.

[4]) C. E. Anderson, The modulation system of the Ampex video tape recorder, J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs. **66**, 182-184, 1957.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

steeds in amplitude gemoduleerd zijn met ruis. Deze modulatieruis is deels te wijten aan de niet volkomen gelijkmatige verdeling van de korrels waaruit het magnetiseerbare materiaal bestaat [5]). Voor een ander deel ontstaat de modulatieruis door diktevariaties van de laag, door stofjes die tussen de laag en de schrijf- of leeskop door glippen, en, in het geval van een geheugenwiel, door onrondheid van het wiel. Door al deze oorzaken ontstaat dus een ongewenste amplitudemodulatie. Was nu het videosignaal eveneens als amplitudemodulatie op de draaggolf aanwezig, dan zou men deze beide modulaties niet meer van elkaar kunnen scheiden. Gebruikt men echter frequentiemodulatie, dan kan men door middel van een begrenzer nagenoeg alle amplitudemodulatie verwijderen, zodat er een vrijwel zuiver in frequentie gemoduleerd signaal overblijft en de bovengenoemde ruisbijdragen geëlimineerd zijn.

De tweede gunstige eigenschap van frequentiemodulatie heeft eveneens betrekking op ruis. In *fig. 3a* is met f_c de centrale frequentie van de in frequentie gemoduleerde draaggolf aangeduid, en met Δf een gebiedje van het ruisspectrum rondom een willekeurige frequentie f_n. Na detectie komt dit gebiedje in het videospectrum te liggen, zoals in fig. 3*b* is getekend, dus rondom de videofrequentie $f_c - f_n$. De bedoelde eigenschap van frequentiemodulatie bestaat hierin dat het ruisvermogen ΔP_n in laatstgenoemd gebiedje evenredig is met $(f_c - f_n)^2$ (in tegenstelling met amplitudemodulatie, waarbij ΔP_n onafhankelijk van $f_c - f_n$ is). Dit nu is een gunstige omstandigheid, daar experimenteel is gebleken dat ruis in een televisiebeeld des te hinderlijker is naarmate bij gelijke ΔP_n de frequenties van de ruiscomponenten lager zijn [6]).

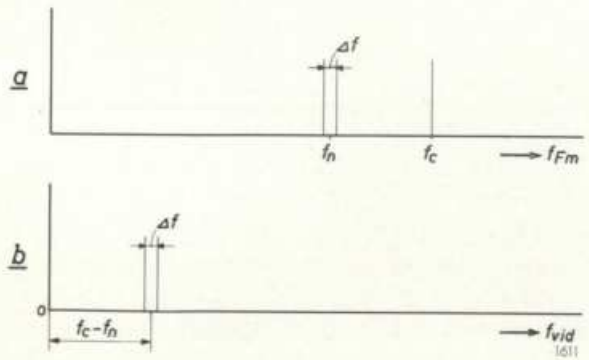


Fig. 3. *a*) In het ruisspectrum van een in frequentie gemoduleerd signaal, met centrale frequentie f_c, is rondom de willekeurige frequentie f_n een gebiedje ter breedte Δf getekend. Dit gebiedje komt na detectie in het videospectrum te liggen zoals in (*b*) is getekend. De ruisbijdrage van het gebiedje is evenredig met $(f_c - f_n)^2$, dus voor lage videofrequenties kleiner dan voor hoge. Dit maakt dat de ruis in het beeld weinig hinderlijk is.

Het frequentiemodulatiesysteem moet zo worden ingericht dat de verhouding van de hoogste tot de laagste frequentie in het te registreren signaal veel kleiner is dan die in het videosignaal, zonder dat de hoogste frequentie aanzienlijk boven de hoogste videofrequentie uit komt. Aan deze eisen is voldaan indien de momentele frequentie van het te registreren signaal b.v. 7 MHz bedraagt bij het helderste wit in het beeld, 5,5 MHz bij zwart en 5 MHz bij de top van de synchroniseersignalen („zwarter dan zwart"); zie *fig. 4*.

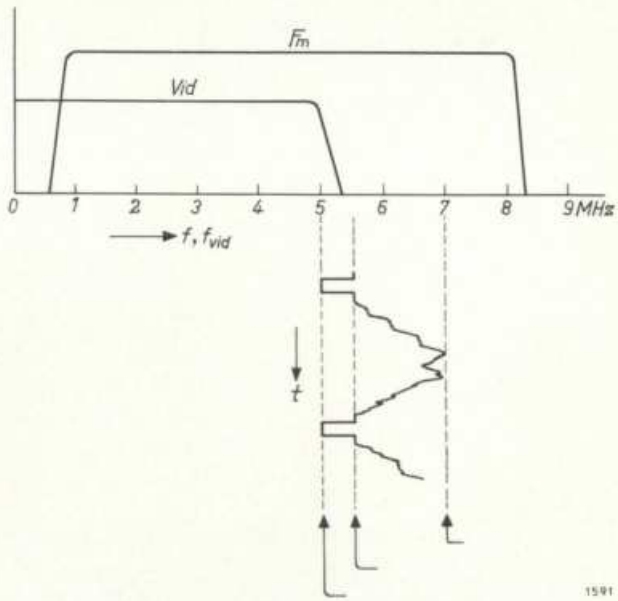


Fig. 4. *Vid* frequentiegebied van het videosignaal van een televisiebeeld met 625 lijnen. *Fm* frequentiegebied van het te registreren signaal, waarvan de momentele frequentie 7 MHz bedraagt bij het helderste wit, 5,5 MHz bij zwart, en 5 MHz bij „zwarter dan zwart" (top van de synchroniseersignalen).

Hoe het frequentiespectrum van een sinusvormig in frequentie gemoduleerd signaal eruitziet, hangt, zoals bekend, in hoge mate af van de modulatieindex m, gedefinieerd als de verhouding van de frequentiezwaai Δf tot de modulatiefrequentie [7]). Bij wijze van ruwe benadering nemen we eens even aan dat het videosignaal sinusvormig was; met 5 en 7 MHz als uiterste waarden van de momentele frequentie is dan de centrale frequentie 6 MHz, de frequentiezwaai 1 MHz. Is $m >$ ca. 25 (in ons geval dus $f_{vid} <$ ca. 40 kHz), dan bestaat het spectrum

[5]) Zie b.v. D. A. Snel, Magnetische geluidsregistratie, Philips' Technische Bibliotheek 1958, blz. 56.

[6]) Van de uitgebreide literatuur over de hinderlijkheid van ruis in televisiebeelden zij hier genoemd: L. Goussot, Le brouillage des images de télévision par les signaux parasites, Onde électr. **39**, 352-361 en 690-700, 1959 (no. 386 en no. 388/389). Hierin worden ook andere artikelen over dit onderwerp aangehaald.

[7]) Zie b.v. Th. J. Weijers, Frequentiemodulatie, Philips techn. T. **8**, 42-50, 1946, in het bijzonder fig. 4.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

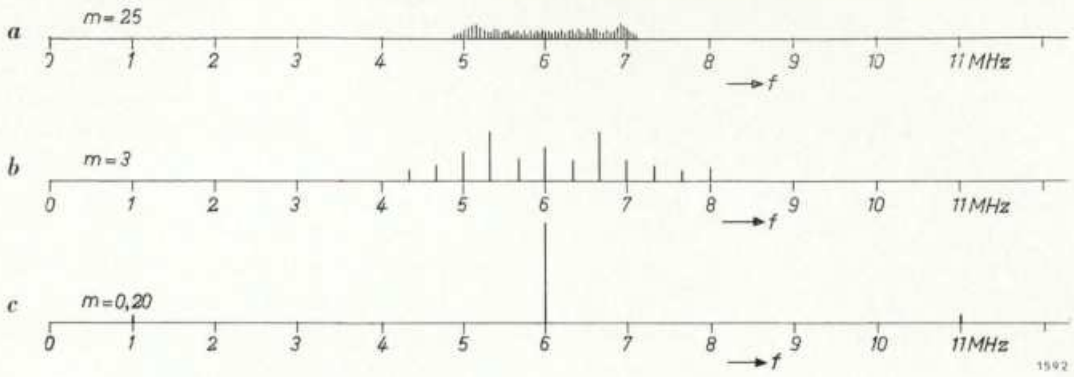


Fig. 5. Frequentiespectrums van een sinusvormig in frequentie gemoduleerd signaal met centrale frequentie 6 MHz, frequentiezwaai 1 MHz en modulatie-index m resp. = 25, 3 en 0,20.

in hoofdzaak uit talrijke lijntjes binnen de grenzen 5 en 7 MHz (*fig. 5a*). Bij $m = 3$ ($f_{vid} = \frac{1}{3}$ MHz) staan de lijntjes veel verder uit elkaar, maar degene die zich buiten de grenzen 5 en 7 MHz bevinden, zijn nog steeds van weinig betekenis (fig. 5*b*). Bij $m = 0{,}2$ echter, corresponderend met de hoogste videofrequentie $f_{vid} = 5$ MHz, bestaat het spectrum praktisch nog slechts uit drie lijnen, bij 6, 6+5 en 6–5 MHz (fig. 5*c*), waarvan er dus twee ver buiten het gebied van 5 en 7 MHz liggen.

Dit laatste betekent niet dat men voor het registreren moet rekenen op $6 + 5 = 11$ MHz als hoogste frequentie. Men kan volstaan met de benedenzijband plus een deel van de bovenzijband, tot ca. 8 MHz (kromme *Fm* in fig. 4). De benedengrens wordt doelmatig gekozen tussen 0,5 en 1 MHz. De frequentieverhouding van het gemoduleerde signaal wordt aldus van de orde van 10 : 1, in plaats van 10^5:1, welke verhouding voor het videosignaal geldt. In octaven uitgedrukt, is het te registreren frequentiegebied teruggebracht van 17 octaven tot 3 à 4 octaven. Weliswaar is de hoogste frequentie die men moet registreren, nu 8 in plaats van 5 MHz, maar dit is voor het vastleggen op een geheugenwiel geen overwegend bezwaar.

De kwaliteit die met behulp van frequentiemodulatie thans is bereikt, blijkt uit *fig. 6*. Deze toont een foto van het beeld van een testplaat, dat via het

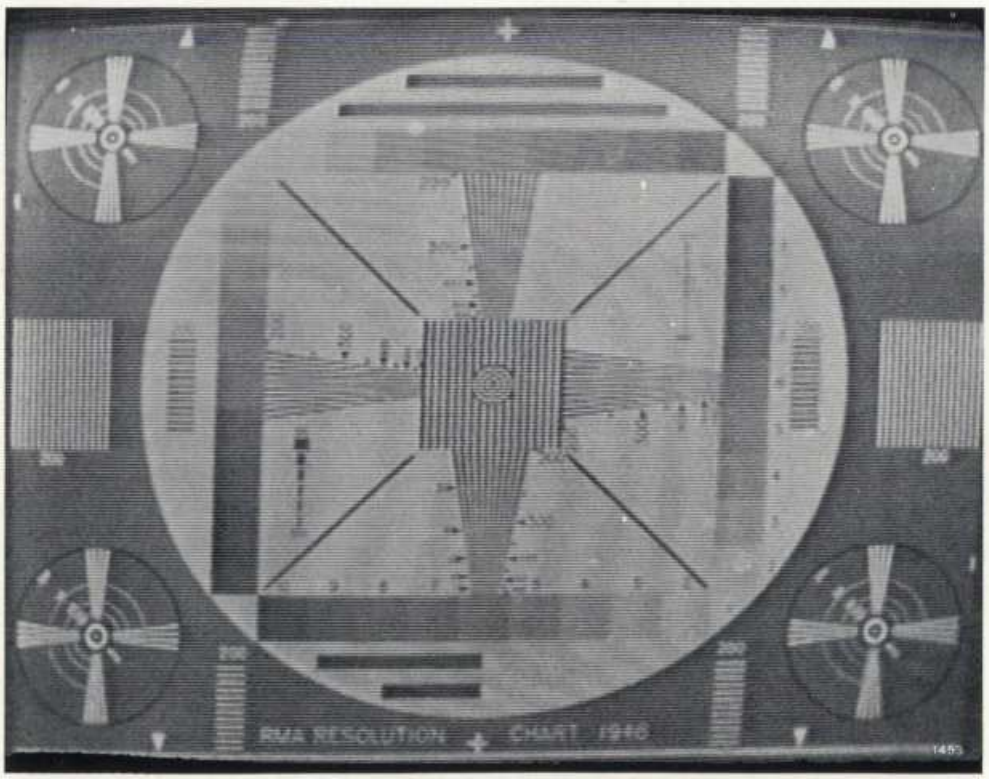


Fig. 6. Beeld van testplaat dat, na opneming met een televisiecamera en registratie op een geheugenwiel, zichtbaar werd op het scherm van een monitor. Hierbij werd gebruik gemaakt van frequentiemodulatie volgens fig. 4. Het raster bestond uit ruim 300 lijnen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

geheugenwiel op een monitor werd verkregen. Verdere verbetering van de kwaliteit mag in de naaste toekomst worden verwacht.

Mechanische bijzonderheden van het geheugenwiel

Om het geheugenwiel zo klein mogelijk te houden, werd bij het ontwerp als doel gesteld, één televisieraster op de omtrek te schrijven. Eén raster duurt $\frac{1}{50}$ seconde. Daaruit volgt dat het wiel 3000 omwentelingen per minuut moet maken.

Zoals we boven hebben gezien, is de hoogste frequentie in het te registreren signaal 8 MHz. Als kleinste nog goed bruikbare golflengte is 8 μ gekozen. Uit $v_s = \lambda f$ volgt dan dat de omtrekssnelheid van het wiel 64 m/s moet bedragen. Deze wordt bij 3000 omw/min verkregen indien het wiel een diameter van 40 cm heeft.

In *fig. 7* is een van de wielen waarmee veel geëxperimenteerd is, afgebeeld. Langs de omtrek staan twee koppen opgesteld: een wiskop en een kop die beurtelings dienst doet voor schrijven en lezen. Geen van beide koppen mag het wiel raken, omdat ze anders, evenals de magnetiseerbare laag, snel zouden slijten. Bij de wiskop behoeft de afstand tot de laag niet extreem klein te zijn, mits men de wisstroom voldoende sterk maakt. Bij de schrijf-leeskop echter komt het erop aan dat de afstand d van de kop tot de laag niet groter is dan ca. 1 μ. Bij lezen bestaat namelijk de volgende betrekking tussen de verzwakking a van het signaal, de afstand d en de golflengte [8]):

$$a = 55 \frac{d}{\lambda} \text{ dB}.$$

Met $\lambda = 8$ μ en $d = 1$ μ bedraagt a dus al 7 dB. Het schrijfproces, dat niet gemakkelijk in formule te brengen is, is op dit punt nog gevoeliger.

De mechanische eisen die men aan de constructie moet stellen, zijn dus bijzonder hoog. De rand van het wiel is voorzien van een 30 mm brede flens, zoals fig. 7 laat zien; zonder deze zou het wiel bij de grote snelheid te veel vervormen. De magnetiseerbare laag is over de volle breedte van de flens aangebracht, waardoor er plaats is voor vele sporen naast elkaar. Het wiel is gemonteerd op een dikke as (tegen het doorbuigen) en in zijn legers (glijlegers van uitzonderlijk goede kwaliteit) afgedraaid tot op beter dan 1 μ nauwkeurig [9]). Door temperatuur-

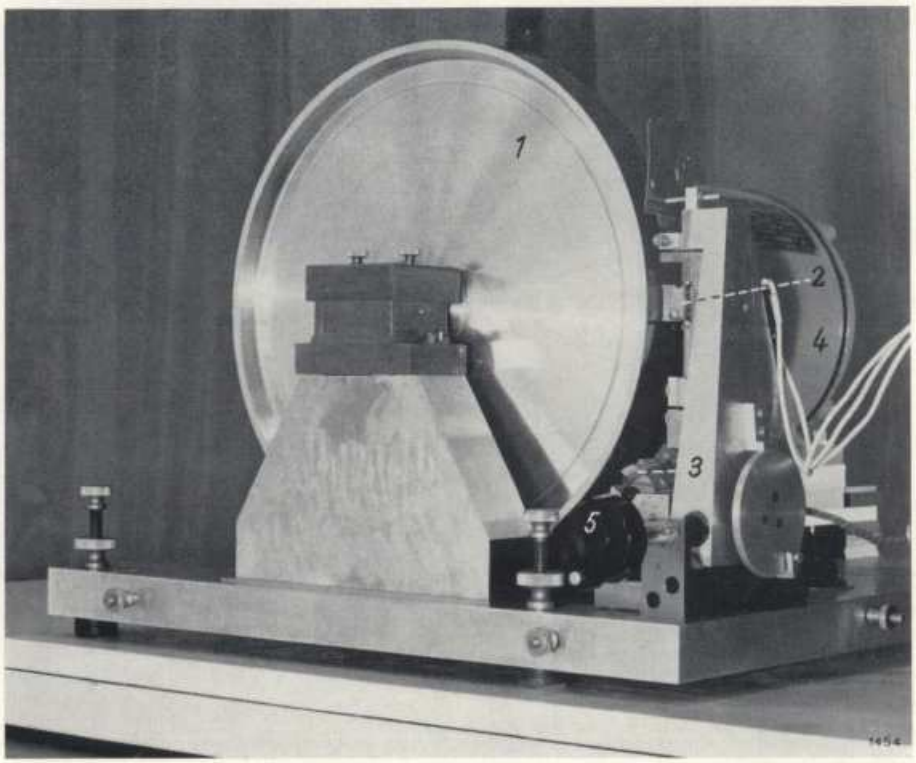


Fig. 7. *1* geheugenwiel. *2* schrijf-leeskop. *3* wiskop. *4* motor. *5* knop waarmee de koppen axiaal verplaatst kunnen worden (op de 30 mm brede flens van het wiel is plaats voor een groot aantal sporen naast elkaar).

[8]) Zie b.v. H. G. M. Spratt, Magnetic tape recording, Heywood, Londen 1958, blz. 84.

[9]) Dit precisiewerk is met grote kundigheid uitgevoerd door L. M. Leblans, van dit laboratorium.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

wisselingen echter kan de straal gemakkelijk enige microns variëren. De schrijf-leeskop mag derhalve niet op een bepaalde plaats worden vastgezet, daar hij dan bij veranderende temperatuur òf het wiel zou gaan raken òf er te ver vandaan zou komen.

De gekozen constructie is zodanig dat de kop, wanneer het wiel met de juiste snelheid draait, „op lucht drijft". De kop *2* (*fig. 8*) is daartoe bevestigd aan een arm *6*, die zijn draaipunt in *7* heeft. De met het wiel meedraaiende lucht duwt de kop van het wiel af, tegen de druk van de veer *8* in, en zorgt ervoor dat er tussen de kop en het draaiende wiel een zekere afstand blijft bestaan. Langs optische weg, door licht door de spleet heen te laten vallen, kon met vrij grote waarschijnlijkheid aangetoond worden dat de afstand *d* ongeveer 1 μ bedraagt. De oliedemping *14* vrijwaart de kop voor trillingen, zonder hem het volgen van langzame veranderingen (door temperatuurwisselingen) te beletten.

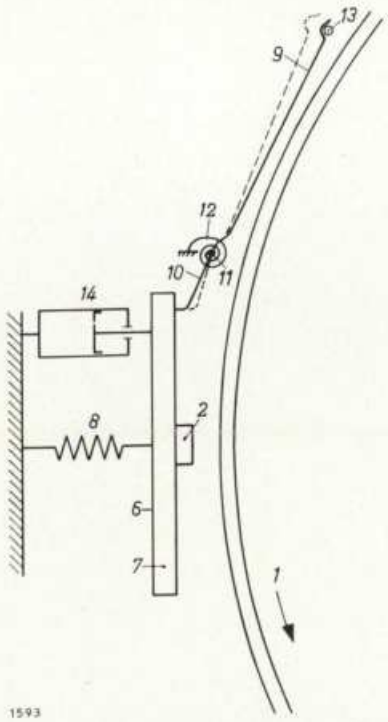


Fig. 8. Constructie (schematisch) voor het bewaren van ca. 1 μ afstand tussen het geheugenwiel *1* en de schrijf-leeskop *2*. *6* arm met draaipunt *7*. *8* drukveer. *9* vaan, met arm *10* en draaipunt *11*. Staat het wiel stil, dan duwt spiraalveer *12* de vaan tegen de aanslag *13;* arm *10* belet dan dat veer *8* de kop tegen het wiel drukt. Als het wiel op toeren wordt gebracht, duwt de meedraaiende lucht de vaan *9* van het wiel af (gestippelde stand), tegen de werking van veer *12* in; arm *10* laat dan arm *6* vrij, en veer *8* drukt de kop naar het wiel toe. De meedraaiende lucht zorgt ervoor dat er tussen kop en wiel een afstand *d* van ongeveer 1 μ blijft (de kop „drijft op lucht"). *14* oliedemping.

Een afzonderlijke maatregel is nodig om te voorkomen dat de veer *8* de kop tegen het wiel drukt wanneer dit stilstaat, of nog niet snel genoeg draait, of uitloopt [10]). Daartoe is een vaan *9* met arm *10* en draaipunt *11* aangebracht. Bij te langzaam draaiend wiel houdt een spiraalveer *12* de hefboom *9-10* in de in fig. 8 getrokken stand; vaan *9* rust dan tegen een aanslag *13*, en arm *10* houdt de arm *6* tegen, zodat de kop het wiel niet kan raken. Komt het wiel op toeren, dan duwt de meedraaiende lucht de vaan *9* omhoog, *9-10* komt in de gestippelde stand te staan, arm *10* laat arm *6* vrij, en er stelt zich het boven beschreven evenwicht in tussen de kracht van de veer *8* en die welke de meedraaiende lucht op de kop *2* uitoefent.

Schakeling voor het schrijven en lezen van één raster

Wil men op het wiel één raster schrijven, dan moet de schrijfkop voor de duur van dit raster ($\frac{1}{50}$ seconde) het in frequentie gemoduleerde televisiesignaal toegevoerd krijgen. Daarvoor is een schakeling nodig die de vóór de schrijfkop geschakelde versterker (schrijfversterker) normaal geblokkeerd houdt, maar hem deblokkeert gedurende het eerste raster dat volgt na een druk op een knop.

Het blokschema van deze schakeling is weergegeven in *fig. 9*. A_2 is de schrijfversterker. F_1 en F_2 zijn wipschakelingen, ieder met twee stabiele toestanden, *I* en *II*. Beide krijgen op ingang *1* voortdurend de (positieve) rastersynchroniseerimpulsen toegevoerd — hier verder kortweg beeldimpulsen genoemd —, die op bekende wijze in de schakeling *S* uit het videosignaal worden gesepareerd. Deze beeldimpulsen, voorgesteld in *fig. 10a*, houden de beide wipschakelingen in toestand *I*. F_2 geeft daarbij aan de schrijfversterker A_2 een voorspanning die hem blokkeert. Drukt men op de knop *B*, dan komt door ontlading van de condensator *C* één impuls (de startimpuls, fig. 10*b*) op de ingang *2* van F_1 te staan; deze impuls brengt F_1 in toestand *II*. De eerstvolgende beeldimpuls doet F_1 terugslaan naar toestand *I* (fig. 10*c*), wat via de koppeling tussen F_1 en ingang *2* van F_2 tot gevolg heeft dat F_2 omslaat van *I* naar *II* (fig. 10*d*); de daarop volgende beeldimpuls brengt F_2 terug in toestand *I*. Gedurende precies één raster verkeert F_2 dus in toestand *II*, en daarbij is de schrijfversterker gedeblokkeerd. Dit ene raster (het eerste dat volgt na het drukken op de knop) wordt dus op het wiel geregistreerd.

Synchronisering van het wiel met het videosignaal

Een belangrijke toepassing van het geheugenwiel is die waarbij het geregistreerde raster afkomstig is

[10]) De hiervoor gevonden oplossing danken wij aan J. F. van Oort, van Philips' Tentoonstellingsdienst.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van een ter plaatse aanwezige televisiecamera, zoals het geval is bij de straks te bespreken röntgenologische toepassing. Men kan dan enerzijds de rasterfrequentie van de camera en de monitor en anderzijds het toerental van het wiel laten bepalen door de frequentie van het plaatselijke elektriciteitsnet. Wat het wiel betreft, komt dit neer op het gebruik van een synchrone motor.

Er zijn echter ook gevallen waarin men een televisiebeeld wil registreren waarvan de rasterfrequentie niet precies gelijk is aan die van het plaatselijke net. Er moeten dan maatregelen worden genomen om het wiel te synchroniseren met de gegeven rasterfrequentie. Het systeem dat wij hiervoor hebben uitgewerkt, bestaat uit een flexibele wervelstroomkoppeling tussen de (niet-synchrone) motor en het wiel, in combinatie met een elektrisch regelsysteem voor het toerental van het wiel.

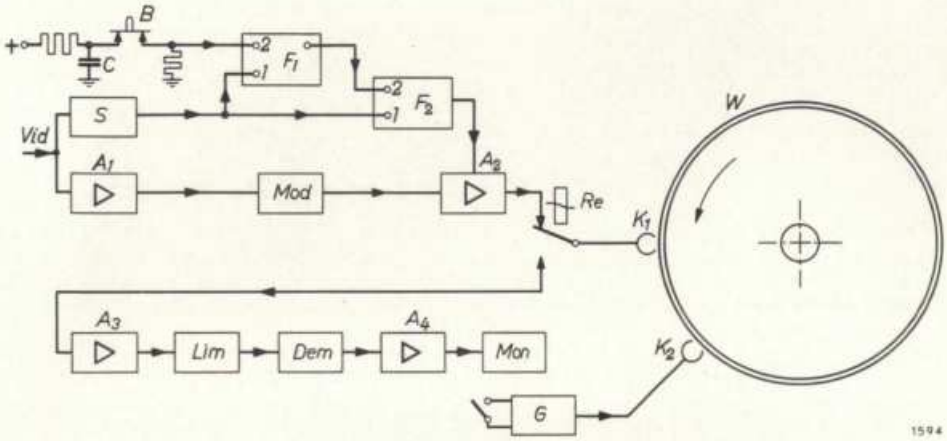


Fig. 9. Blokschema van de schakeling voor het schrijven en lezen van één raster. *Vid* ingang voor het te registreren videosignaal. A_1 videoversterker. *Mod* modulator, waarin het videosignaal een draaggolf in frequentie moduleert. A_2 schrijfversterker. *Re* relais schrijven-lezen. K_1 schrijf-leeskop. *W* geheugenwiel. *S* schakeling die uit het videosignaal het rastersynchroniseersignaal (de „beeldimpuls") separeert. F_1 en F_2 bistabiele wipschakelingen, met ingangen *1* en *2*. *B* drukknop, waarmee door ontlading van de condensator *C* de startimpuls wordt gegeven. A_3 leesversterker. *Lim* begrenzer. *Dem* demodulator (frequentiedetector). A_4 videoversterker. *Mon* monitor. K_2 wiskop. *G* wisstroomgenerator.

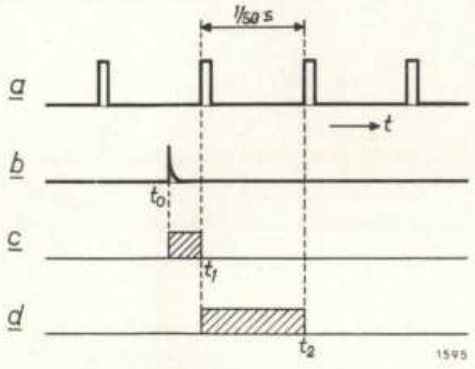


Fig. 10. *a*) Reeks beeldimpulsen op de ingangen *1* van de wipschakelingen F_1 en F_2 in fig. 8. *b*) Startimpuls op ingang *2* van F_1 bij een druk op de knop *B*. *c*) Gedurende het interval t_0-t_1 verkeert F_1 in toestand *II*. *d*) Gedurende het interval t_1-t_2 (= duur van één raster) verkeert F_2 in toestand *II*. De schrijfversterker A_2 (fig. 9) is dan niet geblokkeerd, zodat het raster op het wiel wordt geregistreerd.

De wervelstroomkoppeling

Fig. 11 geeft twee doorsneden van de wervelstroomkoppeling. Deze bestaat uit de volgende onderdelen:

a) een riemschijf *1* van aluminium, voorzien van een cilindrische stalen rand *2* met koperen voering *3*,
b) een getand stalen rad *4*, vastgespied op de as *5* die het geheugenwiel drijft, en
c) een stalen huis *6*, waarin een bekrachtigingsspoel *7* is aangebracht.

De as *5* kan in kogelblokken vrij draaien ten opzichte van de riemschijf *1* en het huis *6*. De riemschijf wordt door middel van een drijfriem gedreven door een motor; het huis en de bekrachtigingsspoel staan stil. Door deze laatste loopt een regelbare gelijkstroom. De magnetische flux sluit zich door de onderdelen *6*, *4* en *2* en concentreert zich daarbij in de tanden van het rad *4*. Wanneer de rand *2* draait en het rad *4* nog stilstaat, worden er wervelstromen geïnduceerd in de koperen bekleding *3*. Bij gevolg wordt er op het rad een koppel uitgeoefend, dat het rad — en dus ook het geheugenwiel — in dezelfde richting doet draaien als de riemschijf, echter met een kleinere hoeksnelheid. Wordt het hoeksnelheidsverschil $\omega_1 - \omega_2$ klein, dan is het koppel evenredig

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

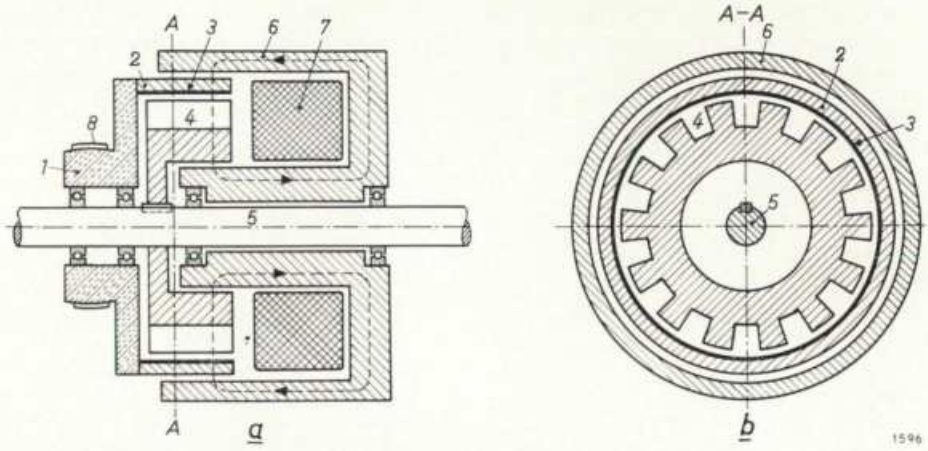


Fig. 11. Wervelstroomkoppeling, *a*) axiale doorsnede, *b*) dwarsdoorsnede bij *A-A* in (*a*). *1* riemschijf van aluminium, met stalen rand *2* en koperen voering *3*. *4* getand rad, vastgespied op de as *5* die via een flexible koppeling de as van het (niet getekende) geheugenwiel drijft. *6* stalen huis. *7* bekrachtigingsspoel. *8* drijfriem.

met $\omega_1 - \omega_2$ (*fig. 12*); bij grote verschillen bestaat er tussen de door de tanden veroorzaakte ruimtelijke pulsering van het magnetische veld en de geïnduceerde wervelstromen een fazeverschuiving, waardoor de kromme afbuigt en er een maximum ontstaat. Bij het op gang brengen van het wiel is aanvankelijk $\omega_2 = 0$ en dus $\omega_1 - \omega_2 = \omega_1$; ligt het maximum ongeveer bij deze waarde, dan is het aanloopkoppel groot en komt het wiel dus snel op gang.

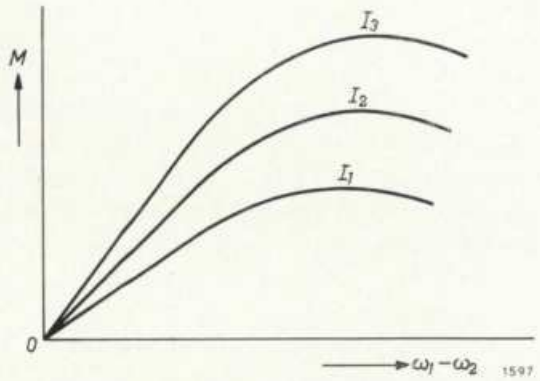


Fig. 12. Het door de wervelstroomkoppeling overgebrachte koppel M als funtie van het hoeksnelheidsverschil $\omega_1 - \omega_2$ tussen de riemschijf *1* en de as *5* (fig. 11), voor drie waarden van de bekrachtigingsstroom ($I_3 > I_2 > I_1$).

Het regelsysteem

Synchronisme tussen het toerental van het wiel en de rasterfrequentie van het videosignaal wordt verkregen door iedere afwijking van het synchronisme te doen terugwerken op de bekrachtigingsstroom van de wervelstroomkoppeling. Daartoe worden twee reeksen van impulsen in faze met elkaar vergeleken: de beeldimpulsen en een reeks wielimpulsen. De beeldimpulsen worden, zoals is vermeld, afgeleid uit het videosignaal; de wielimpulsen worden in een daartoe bestemde opneemkop geïnduceerd door een aan het wiel bevestigd ferroxduremagneetje. Ieder fazeverschil dat tussen beide impulsreeksen ontstaat, beïnvloedt via een speciale schakeling de bekrachtigingsstroom zodanig dat het fazeverschil kleiner wordt.

Het schema van de regelschakeling is te zien in *fig. 13*. De triodes T_1 en T_2 maken deel uit van een bistabiele wipschakeling met gemeenschappelijke katodeweerstand R_2. Het rooster van de katodevolger T_3 is gekoppeld met de anode van T_2. In de stabiele toestand *1* van de wipschakeling (T_1 geleidend, T_2 geblokkeerd) is de anodespanning van T_2 hoog, de spanning van het rooster van T_3 ten opzichte van aarde is dus ook hoog, de stroom door T_3 is groot en de spanning v_k over de katodeweerstand R_3 derhalve hoog ($v_k = V_1$). In de stabiele toestand *2* daarentegen is v_k laag ($= V_2 < V_1$). Wanneer de spanning v_{C1} over C_1 beneden een bepaalde kritische waarde $V_{1,2}$ daalt, gaat de wipschakeling van toestand *1* over in toestand *2*. Voor het overgaan van *2* in *1* is nodig dat v_{C1} een andere kritische waarde, $V_{2,1}$, overschrijdt. De ligging van $V_{1,2}$ en $V_{2,1}$ ten opzichte van V_1 en V_2 is aangegeven in *fig. 14*.

Globaal is de werking van de schakeling als volgt. Wanneer synchronisme ongeveer is bereikt, wordt de wipschakeling door iedere (positieve) wielimpuls in toestand *1* gebracht, en door iedere (negatieve) beeldimpuls in toestand *2*. De spanning v_k van katode K is dus afwisselend hoog en laag, en wel des te langer hoog naarmate toestand *1* langer bestaat, dus naarmate het langer duurt voordat op een wielimpuls een beeldimpuls volgt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

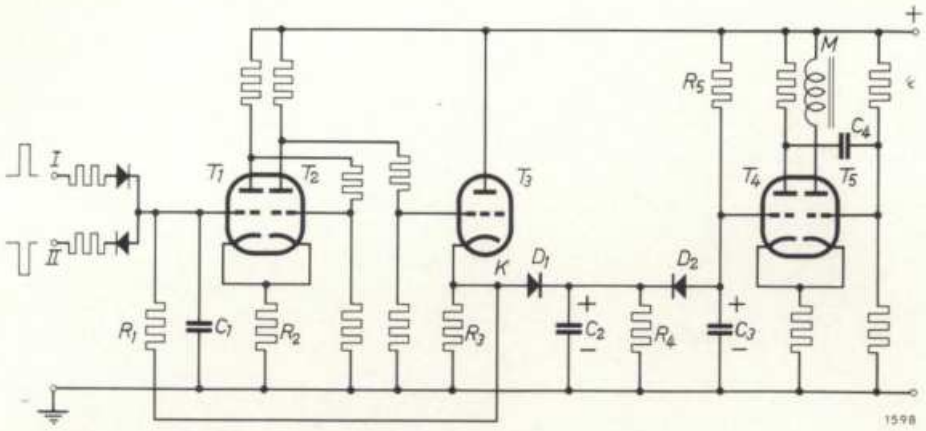


Fig. 13. Schakeling van het regelsysteem. *I* ingang voor de (positieve) wielimpulsen. *II* ingang voor de (negatieve) beeldimpulsen. *M* magneetspoel van de wervelstroomkoppeling (7 in fig. 11). De schakeling bewerkt dat bij te langzaam lopen van het wiel de elektromagneet sterk wordt bekrachtigd, en bij te snel lopen minder sterk. Voor de verklaring, zie de tekst.

De hoge spanning V_1 van K komt via de diode D_1 telkens ook over de condensator C_2 te staan. Deze ontlaadt zich vervolgens geleidelijk over de weerstand R_4. Naarmate het interval τ tussen een beeldimpuls en een wielimpuls langer is, daalt de spanning v_{C2} over C_2 dus tot een lagere eindwaarde. Deze eindwaarde wordt via een „overloopdiode" D_2 overgenomen door de condensator C_3 en bepaalt de stroom die door de triode T_4 loopt. Door ladingstoevoer via de weerstand R_5 krijgt de spanning

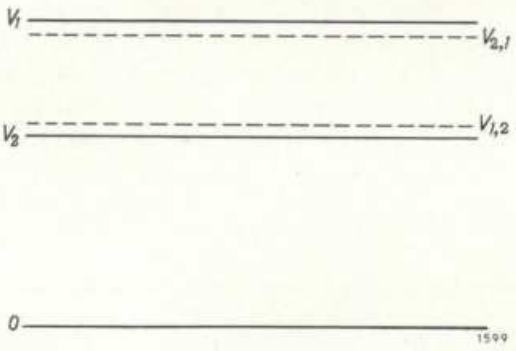


Fig. 14. V_1 potentiaal van punt K (fig. 13) in stabiele toestand *1*; V_2 idem in toestand *2*. $V_{1,2}$ waarde die v_{C1} moet bereiken om toestand *1* te doen verkeren in toestand *2*; $V_{2,1}$ idem voor de overgang van *2* naar *1*.

v_{C3} over C_3, tussen iedere twee dalingen in, gelegenheid om weer een weinig op te lopen.

Onderstellen we dat het wiel iets te langzaam loopt. Het interval τ zal dan de neiging vertonen telkens wat langer te worden. De spanning v_{C3} zal dus lager worden, de stroom door T_4 kleiner, en doordat T_4 en T_5 een gemeenschappelijke katodeweerstand hebben, zal het afnemen van de stroom door T_4 de stroom door T_5 doen toenemen. Deze laatste stroom bekrachtigt de elektromagneet van de wervelstroomkoppeling. In het beschouwde geval wordt de bekrachtiging dus sterker, het koppel eveneens, en de snelheid van het wiel neemt toe, zoals ook moest, daar het wiel volgens onderstelling te langzaam liep. Omgekeerd leidt een te grote snelheid tot een verzwakking van de bekrachtiging, dus tot een vermindering van de snelheid.

De condensator C_4, tussen de anode van T_4 en het rooster van T_5, beïnvloedt de frequentiekarakteristiek van het systeem zodanig dat er geen instabiliteit optreedt.

Een moeilijk punt bij snelheidsregelingen vormt veelal het op gang brengen, omdat dan de fazerelatie tussen de twee impulsreeksen volkomen onregelmatig is. Meestal gaat men zo te werk dat men vóór het op gang brengen het regelsysteem uitschakelt en met het maximale koppel werkt, tot uit de spanning van een tachometerdynamo blijkt dat de juiste snelheid ongeveer is bereikt; pas dan stelt men het regelsysteem in werking. Met de schakeling van fig. 13 is deze voorzorg overbodig; het regelsysteem kan bij het op gang brengen van de aanvang af ingeschakeld zijn en zorgt feilloos voor het pakken van het synchronisme.

De toegevoerde wiel- en beeldimpulsen zijn van zodanige grootte dat iedere wielimpuls in v_{C1} een sprong omhoog $= V_1 - V_2$ teweegbrengt, en iedere beeldimpuls een even grote sprong omlaag. Wanneer men het wiel op gang brengt, volgen de wielimpulsen elkaar aanvankelijk veel minder snel op dan de beeldimpulsen. De spanning v_{C1} verloopt dan zoals in *fig. 15a* is getekend. De wipschakeling verkeert in toestand *2* (T_1 afgeknepen, T_2 geleidend) en blijft voorlopig daarin, aangezien v_{C1}, zolang het wiel nog veel te langzaam loopt, de kritische waarde $V_{2,1}$ niet bereikt. In deze toestand hebben v_k, v_{C2} en v_{C3} de lage waarde V_2, en hiermee correspondeert sterke bekrachtiging van de wervelstroomkoppeling.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

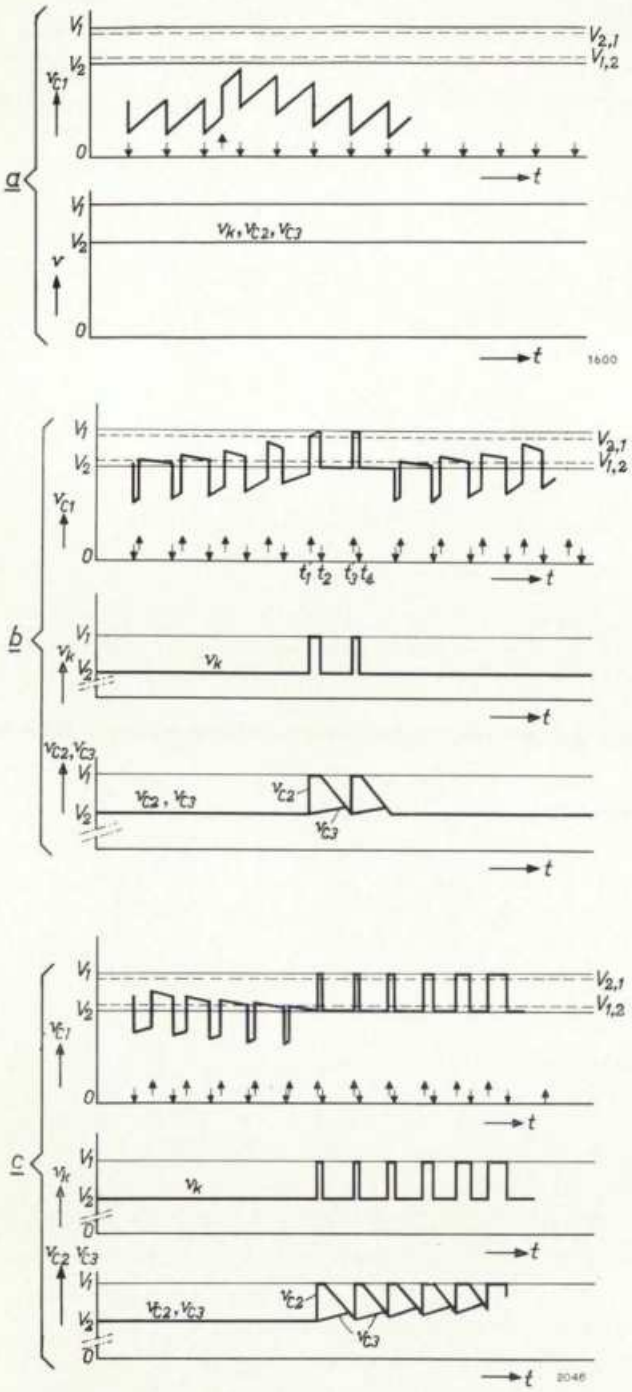


Fig. 15. Verloop van de spanningen v_{C1}, v_k, v_{C2} en v_{C3} in de regelschakeling van fig. 13. Pijltjes ↓ stellen beeldimpulsen voor, pijltjes ↑ wielimpulsen.
a) Het wiel is juist aan de gang gebracht en loopt nog veel te langzaam. De wielimpulsen zijn dus veel minder frequent dan de beeldimpulsen. v_{C1} bereikt de kritische waarde $V_{2,1}$ niet. Daardoor blijft de wipschakeling T_1-T_2 in toestand 2 verkeren; v_k, v_{C2} en v_{C3} zijn constant ($=V_2$), de wervelstroomkoppeling is voortdurend sterk bekrachtigd.
b) Het wiel loopt nog iets te langzaam. Bij $t = t_1$ bereikt v_{C1} de kritische waarde $V_{2,1}$, waardoor T_1-T_2 omslaat in toestand 1, maar de beeldimpuls bij t_2 herstelt toestand 2. Hetzelfde gebeurt bij t_3-t_4. Van t_1 tot t_2 en van t_3 tot t_4 is $v_k = V_1$ en $v_{C1} = V_1$, maar v_{C3} verandert nog niet. De koppeling blijft sterk bekrachtigd.
c) Het wiel heeft een iets te grote snelheid gekregen en komt vandaaruit in synchronisme. v_{C1} en v_k springen heen-en-weer tussen V_2 en V_1, v_{C2} daalt niet meer tot het niveau V_2, v_{C3} wordt geleidelijk hoger, de bekrachtiging wordt zwakker, tot bij synchronisme de evenwichtstoestand is bereikt.

Nadert de snelheid van het wiel de juiste waarde, dan zal de wipschakeling nu en dan omslaan, echter alleen wanneer zeer kort na een wielimpuls een beeldimpuls volgt, zoals bij t_1-t_2 en t_3-t_4 in fig. 15*b*. Gedurende deze intervallen heerst toestand 1 en hebben v_k en v_{C2} de hoge waarde V_1. Wanneer v_k terugspringt naar de lage waarde V_2, begint C_2 zich over R_4 te ontladen en gaat v_{C2} dus geleidelijk afnemen. In het geval van fig. 15*b* bereikt v_{C2} de waarde V_2 weer, zodat v_{C3} — die de laagste waarden van v_{C2} volgt — nog onveranderd de waarde V_2 behoudt en de wervelstroomkoppeling dus sterk bekrachtigd blijft.

Het wiel komt nu op iets te grote snelheid. De wielimpulsen worden dus iets frequenter dan de beeldimpulsen (fig. 15*c*) en er treedt al spoedig een toestand in waarin v_{C1} en v_k voortdurend tussen de waarden V_1 en V_2 heen-en-weer springen. De spanning v_{C2} springt telkens, nog voordat ze tot V_2 is gedaald, weer omhoog, en v_{C3} volgt de telkens iets hoger wordende minima van v_{C2} (de lading die voor dit toenemen van v_{C3} nodig is, wordt aan C_3 toegevoerd over de weerstand R_5). De hoger wordende v_{C3} doet de stroom door T_4 toe- en derhalve die door T_5 afnemen. De wervelstroomkoppeling wordt dus zwakker bekrachtigd, het wiel gaat iets langzamer lopen en komt in synchronisme.

Een andere gunstige eigenschap van het systeem is dat het betrekkelijk ongevoelig is voor veranderingen in de opgedrukte frequentie van de beeldimpulsen; dit hangt samen met het feit dat er geen snelheidsmeting (door middel van een tachometerdynamo) nodig is.

Toepassing op röntgengebied

Het beschreven systeem heeft met alle magnetische registraties gemeen dat het geregistreerde onbeperkt lang bewaard kan worden en dat het uitwisbaar is; na het wissen kan de magnetiseerbare laag onmiddellijk opnieuw worden beschreven. Dank zij het feit dat kop en wiel elkaar niet raken, kan het geregistreerde onbeperkt vaak gereproduceerd worden. De beeldkwaliteit is, zoals we hebben gezien, zeer bevredigend wanneer gebruik wordt gemaakt van frequentiemodulatie.

Door deze eigenschappen zal het geheugenwiel wellicht toepassing vinden in de röntgenologie [11]). Neemt men namelijk het beeld van een röntgenscherm op met een televisiecamera en registreert men één raster op het geheugenwiel, dan kan de arts onmiddellijk daarna het beeld op een monitor willekeurig lang bekijken. De tijd die voor het ontwikkelen van een röntgenfoto nodig is, komt hier dus geheel te vervallen; daardoor kunnen tijdens een operatie kostbare minuten worden bespaard. De vereiste röntgendosis is minimaal — veel kleiner dan bij doorlichting gedurende enige seconden en, indien gebruik wordt gemaakt van een röntgen-

[11]) Th. G. Schut en W. J. Oosterkamp, The application of electronic memories in radiology, Medicamundi **5**, 85-88, 1959 (no. 3/4); Th. G. Schut en W. J. Oosterkamp, Die Anwendung elektronischer Gedächtnisse in der Radiologie, Elektron. Rdsch. **14**, 19-20, 1960 (no. 1).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 16. Apparatuur voor het demonstreren van de röntgenologische toepassing van het geheugenwiel (nog zonder frequentiemodulatie). Van rechts naar links, onderaan: röntgentoestel, object (hier een schedel), röntgenbeeldversterker, televisiecamera, kast met hulpapparatuur voor het televisiesysteem; bovenaan: kast met schrijf- en leesversterker, geheugenwiel, monitor.

beeldversterker, ook veel kleiner dan voor een röntgenfoto nodig is. Een niet te onderschatten voordeel is bovendien dat een niet geheel geslaagde opname direct kan worden overgemaakt.

In *fig. 16* ziet men het geheugenwiel met toebehoren waarmee gedemonstreerd is (nog zonder frequentiemodulatie) op het bovengenoemde Internationale Congres voor Röntgenologie te München.

Samenvatting. Beschrijving van een geheugenwiel waarop één televisieraster magnetisch kan worden geregistreerd. De beeldkwaliteit die men verkrijgt bij directe registratie van het videosignaal, is, ondanks het grote frequentiegebied (50 Hz-5 MHz) voor sommige doeleinden reeds bruikbaar. Een aanzienlijke verbetering is te verkrijgen door een met het videosignaal in frequentie gemoduleerd signaal te registreren. Dit signaal kan b.v. bij wit een frequentie van 7 MHz hebben, bij zwart 5,5 MHz en bij de toppen van de synchroniseersignalen 5 MHz. Het te registreren frequentiegebied loopt dan van ca. 0,5 MHz tot ca. 8 MHz. Bij een bepaalde experimentele uitvoering is de gekozen minimumgolflengte op het wiel 8 μ bij 8 MHz, de omtrekssnelheid 64 m/s, het toerental 50 omw/s, de middellijn 40 cm. De omtrek van het wiel is 30 mm breed en biedt plaats voor vele sporen naast elkaar. Beschreven wordt een constructie waarbij de met het wiel meedraaiende lucht ervoor zorgt dat de schrijf-leeskop de magnetiseerbare laag tot op ca. 1 μ nadert zonder hem te raken („op lucht drijvende kop"). Ter sprake komen een schakeling voor het schrijven en lezen van één raster en een schakeling voor het synchroniseren van het wiel met het videosignaal. Tot slot wordt als mogelijke toepassing het registreren van röntgenbeelden genoemd. Voordelen hiervan boven fotograferen zijn: tijdverlies door fotografisch ontwikkelen vervalt geheel, de röntgendosis is minimaal, en een minder geslaagde opname kan direct worden overgemaakt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN EENVOUDIGE METHODE VOOR HET BEPALEN VAN HET WARMTEGELEIDINGSVERMOGEN VAN VASTE STOFFEN

door J. SCHRÖDER *).

536.21.08

Het eigenaardige van de beschreven methode is, dat men geen temperaturen en geen warmtehoeveelheden behoeft te meten. De eigenlijke meting, die aan een klein proeflichaam wordt uitgevoerd, kan worden teruggebracht tot het bepalen van een tijd (van enkele minuten) met een stophorloge en het aflezen van de warmteweerstand in een ijkdiagram.

In vergelijking met andere materiaaleigenschappen is het soortelijke warmtegeleidingsvermogen tot dusver slechts voor een gering aantal vaste stoffen gemeten. Bovendien lopen de waarden die men in de literatuur voor een zelfde stof vindt, nogal uiteen: niet zelden zijn er afwijkingen van meer dan 50%. Ten dele zijn de verschillen hierdoor te verklaren dat samenstelling, zuiverheid, voorbehandeling enz. van de gemeten monsters verschilden. Een andere belangrijke oorzaak is echter wel te zoeken in de moeilijkheid, deze grootheid op betrouwbare en reproduceerbare wijze te meten — een moeilijkheid die er wellicht ook debet aan is dat nog zo betrekkelijk weinig stoffen in dit opzicht onderzocht zijn. En dit terwijl het warmtegeleidingsvermogen van de vaste stof steeds meer in de belangstelling begint te komen, zowel om wetenschappelijke redenen als uit technische noodzaak. Als wetenschappelijk onderzoekingsobject is het verschijnsel van de warmtegeleiding actueel, omdat het tot nu toe niet gelukt is een volledige theorie van de, niet-metallieke, warmtegeleiding van de vaste stof te geven. Technisch is kennis van het warmtegeleidingsvermogen van belang omdat men bij vele toepassingen van de vaste stof waarbij enig vermogen omgezet wordt, te maken krijgt met het probleem de gedissipeerde warmte uit het inwendige van de stof af te voeren. In sommige toepassingen — zoals de peltierkoeling en de thermo-elektrische energieproduktie — is de warmtegeleiding zelfs doorslaggevend voor het rendement dat men bereiken kan.

Het is ondoenlijk de talrijke in de literatuur beschreven methodes voor het bepalen van het soortelijke warmtegeleidingsvermogen λ op te sommen [1]). Ze hebben vrijwel alle gemeen dat men het temperatuurverschil ΔT meet dat over een stuk ter lengte l van een monster optreedt — wat het best met thermo-elementen kan geschieden —, en tevens de hoeveelheid warmte Q die in een bepaalde tijd t door dit stuk stroomt. Dan wordt per definitie de warmteweerstand R gegeven door:

$$\frac{1}{R} = \frac{A}{l}\lambda = \frac{Q}{t\Delta T}, \quad \ldots \quad (1)$$

indien A de doorsnede van het monster is. Q leidt men meestal af uit een voor de warmtetoevoer gebruikt elektrisch vermogen, soms ook meet men Q calorimetrisch. De nauwkeurigste waarden voor λ krijgt men als men meet in de stationaire toestand, waarvoor (1) geldt. Doordat men op de instelling van deze toestand moet wachten, duurt dan echter de meting relatief lang, vooral ook omdat het monster en het warmtetoevoerende lichaam afgeschermd moeten zijn tegen de omgeving, en de afscherming zelf eveneens eerst op de juiste (en stationaire!) temperatuur moet komen. Deze voorzorgen vereisen bovendien een vrij omslachtige apparatuur. Bij vele methodes vraagt verder de voorbereiding van het monster veel tijd, zodat men al met al niet meer dan één monster per dag kan onderzoeken.

In hetgeen volgt, wordt een nieuwe methode beschreven, waaraan slechts een bescheiden apparatuur te pas komt en die het mogelijk maakt het soortelijke warmtegeleidingsvermogen van vaste stoffen bij kamertemperatuur snel en nauwkeurig te meten. Een bijkomend voordeel van de methode is dat de vereiste monsters niet alleen zeer gemakkelijk te maken zijn, maar ook vrij kleine afmetingen kunnen bezitten — een eis die voor vele stoffen heel belangrijk is en waaraan sommige der oudere methodes allerminst voldoen. Volgens dezelfde methode kan men ook λ-waarden bepalen bij andere temperaturen, tussen -200 en $+400$ °C, waarvoor dan wel nog wat hulpapparatuur nodig is.

Het kernpunt van de nieuwe methode is, dat men de proef uitvoert met een vast temperatuurverschil tussen de uiteinden van het monster. De temperaturen van de beide uiteinden worden nl.

*) Zentrallaboratorium Allgemeine Deutsche Philips Industrie GmbH, Laboratorium Aken.

[1]) Zie b.v. M. Jakob, Heat transfer, Wiley, New-York 1949, deel I, hfdst. 9. Ook Archiv für technisches Messen V 9213-1 tot 4.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

vastgelegd door contact met twee kokende vloeistoffen. Gemeten wordt de tijd waarin, bij stationaire warmtestroming, een zekere hoeveelheid warmte door het monster gaat; deze hoeveelheid warmte wordt eenvoudig vastgelegd door de hoeveelheid vloeistof die aan het „koude" einde van het monster tot verdampen is gebracht.

Fig. 1 toont schematisch de opstelling waarmee de methode wordt gerealiseerd [2]). In het onderste vat A wordt een zuivere vloeistof a aan de kook gebracht. De damp stroomt tegen het zilveren

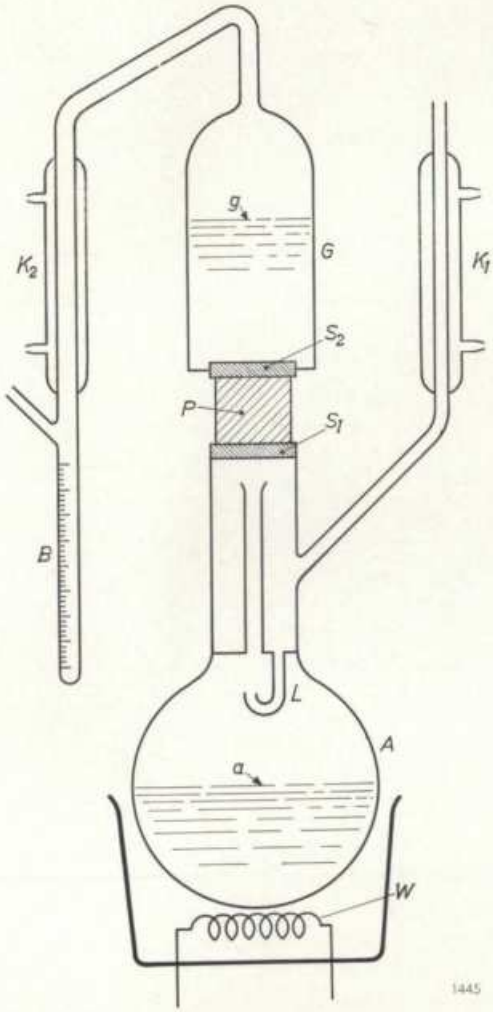


Fig. 1. Principe van de nieuwe meetmethode voor het soortelijke warmtegeleidingsvermogen van vaste stoffen. P monster van het te onderzoeken materiaal. A en G vaten, waarin twee verschillende vloeistoffen (a en g). W warmtebron, die a aan de kook houdt. S_2 en S_1 zilveren plaatjes, die zorgen voor goed warmtecontact van P resp. met de vloeistof g en met de damp van vloeistof a. K_1 koeler en L overlooppijpje voor het terugleiden van de verdampte vloeistof a. De vloeistof g, waarvan het kookpunt ca. 10 °C lager is dan dat van a, wordt aan de kook gebracht door de warmte die door het monster P stroomt. K_2 koeler en B opvangbuis, voorzien van een milliliterschaal, voor het opvangen en aflezen van de verdampte hoeveelheid van vloeistof g.

[2]) Een hierop berustend meettoestel zal binnenkort in de handel worden gebracht door de firma Colora Messtechnik GmbH, Lorch/Württ., B.R. Duitsland.

plaatje S_1, wordt in de koeler K_1 gecondenseerd, en de gecondenseerde vloeistof stroomt door het overlooppijpje L naar het vat terug. Het plaatje S_1 wordt aldus zeer effectief op een constante temperatuur, de kooktemperatuur T_a van de vloeistof, gehouden; daalt nl. S_1 maar een weinig beneden die temperatuur, dan condenseert er damp op het plaatje en geeft deze hieraan zijn condensatiewarmte af, zodat de temperatuur van het plaatje tot T_a stijgt. Het bovenste vat G bevat een andere zuivere vloeistof, g, waarvan het kookpunt b.v. 10 °C lager is dan dat van vloeistof a. S_2 is een zilveren plaatje in de bodem van dit vat. Tussen de beide plaatjes S_1 en S_2 is een cilindrisch monster P van de te onderzoeken vaste stof aangebracht. De warmte die door dit monster van S_1 naar S_2 stroomt, brengt de vloeistof g aan de kook, waardoor dan de temperatuur van S_2 eveneens constant blijft, nl. op het kookpunt T_g van g. Tussen S_1 en S_2 heerst derhalve het constante temperatuurverschil $T_a - T_g$. De damp van vloeistof g wordt gecondenseerd in de koeler K_2 en de gecondenseerde vloeistof wordt verzameld in de van een milliliterschaal voorziene buis B.

Men bepaalt met een stophorloge de tijd t waarin een bepaald vloeistofvolume V, b.v. 1 ml, naar de buis B overgaat. Tevoren heeft men de toestand van stationaire warmtestroming zich laten instellen; hiertoe blijkt het voldoende te zijn b.v. 0,1 ml vloeistof te laten overgaan. Is S de verdampingswarmte van de vloeistof g per volume-eenheid, dan volgt uit verg. (1):

$$\lambda = \frac{l}{A}\frac{1}{R} = \frac{l}{A}\frac{VS}{t(T_a - T_g)}. \quad . \; . \quad (2)$$

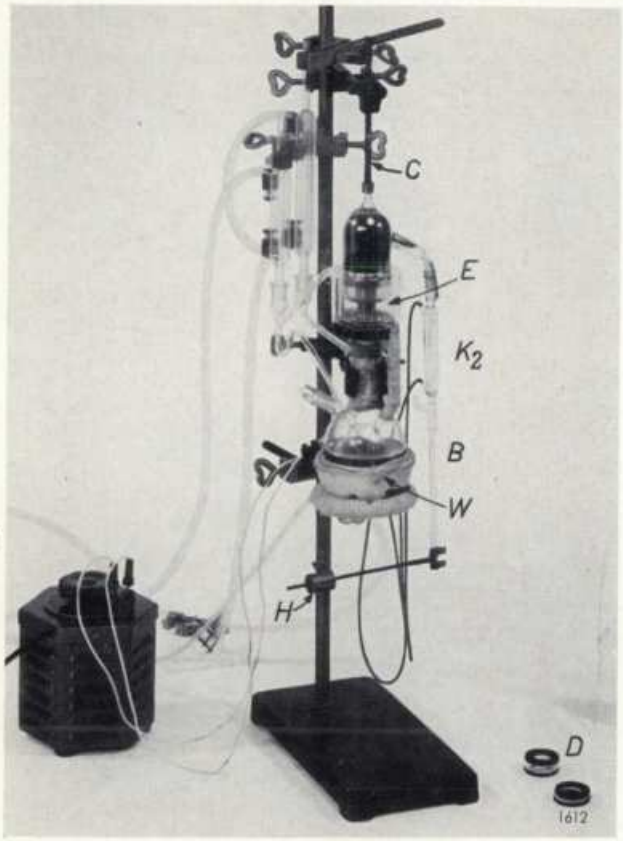
Met de gegevens over de vloeistoffen en de afmetingen l en A van het monster kan men λ uit de gemeten waarden van V en t berekenen.

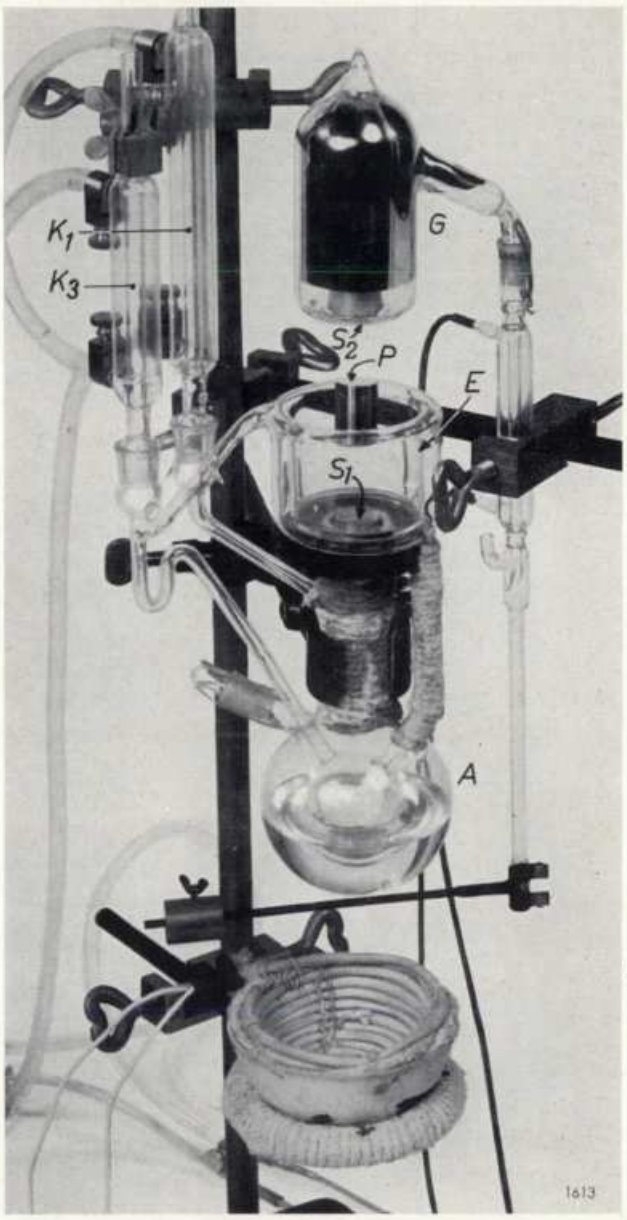
De methode heeft een verrassend grote nauwkeurigheid, dank zij het feit dat men de invloed van de warmteverliezen, die bij het warmtetransport van S_1 naar de vloeistof g optreden, relatief zeer gering kan houden. Dit doet men in de eerste plaats door de afmetingen van het monster zo te kiezen dat er een behoorlijk grote warmtestroom door het monster vloeit. Van een stof die de warmte slecht geleidt, neemt men derhalve een dun plaatje als monster. Van een betere geleider zal men, bij gegeven temperatuurverschil, een dikker monster gebruiken, want een al te grote warmtestroom zou de vloeistof g te wild doen koken, waardoor hij gaat spatten en er eventueel niet alleen verdampte maar ook overgespatte vloeistof in de buis B terechtkomt. Ook wordt bij een al te snel overdestilleren van de gewenste hoeveelheid vloeistof naar B het bepalen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

a





b

Fig. 2. Het meettoestel, *a*) gereed voor gebruik, *b*) uit elkaar genomen (het monster P wordt op deze foto zwevend gehouden tussen de twee zilveren plaatjes S_1 en S_2).

Het bovenste vat G is als een dewarvat uitgevoerd, met bovenaan de afsmeltpunt van de pompstengel en opzij de aangezette koeler K_2 en meetbuis B. Het wordt los op het monster geplaatst en door de lange schroefveer C ertegen gedrukt. De arm met gewichtje H compenseert het door K_2 en B veroorzaakte koppel. Om het monster wordt een der ringetjes D geplaatst voor warmte-isolatie. Als verfijning ten opzichte van het eenvoudige, in fig. 1 geschetste, principe bevindt zich hier verder om het monster een dubbelwandig glazen vat E; tussen de wanden door kan men damp laten stromen van een vloeistof met kookpunt tussen die der vloeistoffen a en g. Het vat voor deze vloeistof ziet men binnen vat A, hierbij behoort de koeler K_3 met terugloopppijp.

van de tijd onnauwkeuriger. Het gunstigst is het als t tussen 100 en 1000 seconden ligt, wat men, behalve door keuze van de warmteweerstand van het monster, ook door keuze van geschikte vloeistoffen (grootte van S en $T_a - T_g$) kan realiseren.

Behalve uit het monster, kan ook uit het bovenste vloeistofvat warmte naar buiten verloren gaan, hetgeen door onvoldoende verdamping of voortijdige condensatie fouten zou veroorzaken in de overgegane vloeistofhoeveelheid V. Deze fouten kunnen zeer klein gehouden worden door het bovenste vat G te omgeven met een vacuümmantel (dewarvat); zie de foto's van de opstelling in *fig. 2*.

Zoals de methode hierboven beschreven is, stelt zij de gebruiker in staat, een absolute bepaling van λ uit te voeren. Beschikt men over een aantal geijkte monsters, dan is het nog eenvoudiger, λ te bepalen door een vergelijkende meting [3]). Men zet dan de tijden t die men met het meettoestel vindt voor de geijkte monsters, in een diagram uit tegen de bekende waarden van de warmteweerstand R. Op de verkregen ijklijn kan men voor een monster van de te onderzoeken stof, na meting van t, onmiddellijk de waarde van R aflezen, en daaruit en uit de afmetingen van het monster de waarde van λ berekenen.

Men behoeft voor deze relatieve metingen de nauwkeurige waarden van V, T_a en T_g in het geheel

[3]) De ijking van een aantal monsters werd voor ons uitgevoerd door K. H. Bode en W. Fritz van de Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Brunswijk. De waarden van de warmteweerstand werden bij hun zeer zorgvuldige metingen bepaald met een fout van ten hoogste $\pm$ 1% (Z. angew. Phys. **10**, 770-779, 1958). Gaarne betuigen wij deze heren onze dank voor de verleende medewerking.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

niet te kennen. Men elimineert daarmee ook automatisch de fouten die in een berekende λ-waarde zouden sluipen, a) doordat de kooktemperaturen T_a en T_g eventueel iets van de aangenomen waarden verschillen door onzuiverheid van de vloeistoffen, en b) doordat de einden van het monster niet precies de temperaturen T_a en T_g krijgen ten gevolge van overgangsweerstanden in de warmteovergang tussen de zilveren plaatjes en het monster. Wèl moet men, voor een behoorlijk reproduceerbare relatieve meting, ervoor zorgen dat de genoemde overgangsweerstanden voor alle metingen even groot zijn. Hetzelfde geldt voor de grootte van het resterende kleine warmteverlies, dat dan bij de relatieve meting eveneens onschadelijk is. Hierop komen we straks nog even terug.

De ijklijn blijkt met uitstekende benadering een rechte te zijn, zie *fig. 3*. De uiterst geringe spreiding van de punten getuigt van de grote mate van reproduceerbaarheid die de methode bezit. Volgens verg. (1) zou de ijklijn een rechte moeten zijn die door de oorsprong gaat. De gevonden lijn doet dit niet, doch snijdt op de ordinaatas een stuk R_0 af. Dit beantwoordt aan de warmteweerstand van de diverse overgangen. Voor elk paar gekozen vloeistoffen moet de ijklijn opnieuw worden opgenomen, maar aangezien dit een rechte is, kan men volstaan met de meting van twee ijkmonsters, en eventueel een derde voor de controle.

Op de beschreven wijze uitgevoerd, duurt een meting, inclusief de voorbereiding, niet meer dan 5 tot 15 minuten. De meetfout is ten hoogste $\pm$ 3%. Er behoeven geen temperaturen gemeten te worden, en de kookpunten en verdampingswarmten van de gebruikte vloeistoffen behoeven niet nauwkeurig bekend te zijn. De vloeistoffen behoeven niet eens zuiver te zijn, mits men voor meting en ijking dezelfde vloeistoffen gebruikt. Door het grote gemak en de snelheid waarmee een monster kan worden gemeten, heeft deze methode de praktische mogelijkheid geopend ook grote series van preparaten, b.v. van mengkristallen met variërende samenstelling, stelselmatig te onderzoeken.

Er volgen nog enkele bijzonderheden over de uitvoering van het meettoestel en de monsters.

Verschillende maatregelen worden getroffen om de reproduceerbaarheid van de temperaturen der zilveren plaatjes S_1 en S_2 zo goed mogelijk te waarborgen. Ter vermijding van kookvertraging van de vloeistof g zijn capillaire boringen in het plaatje S_2 aangebracht. De plaatjes S_1 en S_2 worden aan de binnenzijde, waar ze in contact zijn met resp. de damp en de vloeistof, voorzien van groeven of dergelijke, om het oppervlak voor de warmteovergang zo groot mogelijk te maken. Aan de andere zijde zijn de plaatjes vlak geslepen, om bij gedefinieerde lengte van het te meten monster zo goed mogelijk contact tussen monster en plaatjes te verkrijgen. Ter vermindering van de contactweerstanden wordt bovendien een contactvloeistof tussen de oppervlakken gebracht en worden de plaatjes door een veer met een flinke (en constante!) kracht tegen het monster gedrukt (zie fig. 2*a*). Op deze wijze zijn de variaties in de warmteweerstand van de overgangen zo gereduceerd dat hun invloed bij alle metingen binnen de, door andere factoren bepaalde, nauwkeurigheidsgrens blijft.

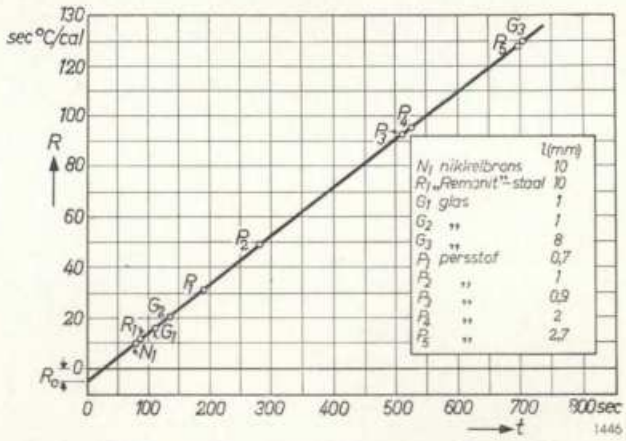


Fig. 3. IJkdiagram voor een van de uitgevoerde toestellen, met gebruik van zwavelkoolstof en ether als kookvloeistoffen (kookpunten resp. 46,3 en 34,5 °C). Uitgezet is voor een tiental ijkmonsters (zie inzet) de bekende warmteweerstand R — waarvan de waarden voor deze monsters een factor 10 uiteenliepen — tegen de gemeten tijd t waarin 1 ml vloeistof in buis B werd opgevangen. De ijkpunten liggen met zeer goede benadering op een rechte, hetgeen de nauwkeurigheid van de methode demonstreert.

Extrapolatie van de ijklijn naar $t = 0$ levert de correctie R_0 die men bij een absolute meting van de warmteweerstand zou moeten aanbrengen (in R_0 komen overgangsweerstanden zowel als warmteverliezen tot uiting).

Er is reeds vermeld dat ter vermijding van warmteverliezen het bovenste vloeistofvat G in een soort dewarvat wordt geplaatst. Ook om het monster brengt men natuurlijk een warmte-isolatie aan. Hiervoor dient een stel ringen, waarvan men er twee in fig. 2*a* rechts naast het statief ziet liggen. Wil men het warmtegeleidingsvermogen meten bij temperaturen die sterk van de kamertemperatuur afwijken, dan moet men om beide vaten (en om het monster) afschermingen aanbrengen die op de juiste temperaturen worden gehouden door vloeistofbaden waarin men dezelfde vloeistoffen als in de vaten A en G laat koken. Bij metingen beneden kamertemperatuur, waarbij men dus in G (evenals in A) een vloeistof heeft die bij kamertemperatuur dampvormig is, behoeft de uit G verdampte hoeveelheid niet in een koeler te worden gecondenseerd,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

maar deze kan in een gasmeter worden opgevangen en gemeten.

Wat de te gebruiken vloeistoffen betreft, zijn er voor het gehele genoemde temperatuurgebied van −200 tot +400 °C wel paren van vloeistoffen te vinden die een geschikt kookpunt hebben, met een onderling verschil van 5 tot 15 °C. Desgewenst kan men ook met een zelfde vloeistof voor beide vaten werken en de kooktemperatuur in vat *A* iets verhogen door een kleine, constante, drukverhoging, die met behulp van een manostaat geregeld wordt.

Als monsters zowel voor de ijking als voor de meting gebruiken we cilindrische lichamen van 16 tot 18 mm diameter en een lengte variërend van 0,5 tot 30 mm, naar gelang van het soortelijke geleidingsvermogen van het te onderzoeken materiaal. Bij stoffen met groot geleidingsvermogen (zuivere metalen) kan men het monster als holle cilinder uitvoeren, met een lengte van b.v. 10 mm en een wanddikte van bij voorkeur niet minder dan 1,5 mm.

Samenvatting. De twee uiteinden van een cilindrisch monster, van ca. 18 mm diameter en 0,5-30 mm lengte, worden op constante, ca. 10 °C verschillende, temperaturen gehouden door contact met twee kokende vloeistoffen van geschikt kookpunt. Gemeten wordt de tijd waarin een bepaalde hoeveelheid warmte, in stationaire stroming, door het monster stroomt. Deze hoeveelheid warmte wordt eenvoudig vastgelegd door het verdampen (en na condensatie opvangen) van een bepaalde hoeveelheid vloeistof aan de „koude" kant. In de praktijk meet men eerst twee geijkte monsters; men kan dan de warmteweerstand van het te onderzoeken monster direct uit een ijkdiagram aflezen. De kooktemperaturen der beide vloeistoffen behoeven in dat geval niet nauwkeurig bekend te zijn, en men behoeft de verdampte hoeveelheid vloeistof en zijn verdampingswarmte in het geheel niet te kennen. Een meting duurt 5-15 minuten, de meetfout is ten hoogste ± 3%, en men kan de meting, met enkele speciale voorzorgen, ook bij andere temperaturen dan kamertemperatuur uitvoeren, tussen −200 en +400 °C.

RICHTINGSISOLATOREN VOOR MILLIMETERGOLVEN

door H. G. BELJERS.

621.372.852.223:621.318.134

In microgolfapparatuur maakt men tegenwoordig vaak gebruik van niet-reciproke schakelelementen. Het voornaamste daarvan is de richtingsisolator, een element dat de golven bij doorgang in de ene richting nagenoeg niet en bij doorgang in de andere richting zeer sterk verzwakt [1]).

Bij de zg. resonantie-isolator maakt men gebruik van het feit dat er in een rechthoekige golfpijp plaatsen voorkomen waar een zodanig magnetisch draaiveld aanwezig is dat, als men er een geschikt magnetisch materiaal aanbrengt, bij voortplanting in de ene richting gyromagnetische resonantie optreedt en bij voortplanting in de andere niet. Daar de gyromagnetische resonantie — dikwijls kortweg magnetische resonantie genoemd — gepaard gaat met het optreden van verliezen, worden de golven bij passage in de eerstgenoemde richting sterk gedempt. Door materiaal te gebruiken waarin verliezen van andere aard niet of nagenoeg niet optreden, kan men aldus een richtingsisolator maken. De richtingsisolatoren voor mm-golven die we in dit artikel zullen bespreken, zijn alle resonantie-isolatoren.

De werking van andere soorten richtingsisolatoren berust op het Faraday-effect of op de zg. veldverdringing. Ook deze typen komen in principe in aanmerking voor het mm-gebied. Aan de isolatoren die op het Faraday-effect berusten, kleeft het nadeel dat er een stuk ronde golfpijp voor nodig is; wil men ze opnemen in een schakeling met rechthoekige golfpijpen, dan dient men dus overgangsstukken aan te brengen.

Gyromagnetische resonantie treedt op indien men een statisch magneetveld aanbrengt loodrecht op de voortplantingsrichting èn loodrecht op het magneetveld van de microgolven. Het vereiste veld H is ongeveer evenredig met de frequentie f van de microgolven. Drukt men H uit in A/m en f in MHz, dan geldt:

$$H \approx f/0{,}035. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

De precieze waarde van H wordt ook nog bepaald door de ontmagnetisering, d.w.z. door de vorm van het stukje materiaal. Dit wordt uitgedrukt door de formule van Kittel:

$$f = 0{,}035 \sqrt{H + M(N_x - N_y)} \times \sqrt{H + M(N_z - N_y)}, \quad \ldots \quad (2)$$

waarin M de verzadigingsmagnetisatie is en N_x,

[1]) H. G. Beljers, Toepassing van ferroxcube voor niet-reciproke golfgeleiders, Philips techn. T. **18**, 126-135, 1956.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

N_y en N_z de ontmagnetiseringsfactoren. (De voortplantingsrichting is de z-richting, het magneetveld is evenwijdig met de y-richting.) Zoals men ziet, wordt formule (2) gelijk aan formule (1) indien $N_x = N_y = N_z$, d.w.z. indien het magnetische materiaal de bolvorm heeft.

Een verdere consequentie van de ontmagnetisering is, dat voor het verkrijgen van een zo gering mogelijke demping in de doorlaatrichting het magneetveld van de microgolven in de regel niet circulair gepolariseerd moet zijn, zoals men op het eerste gezicht zou verwachten, maar elliptisch. We komen hier aanstonds nog op terug.

Uit formule (1) kan men afleiden dat voor het maken van richtingsisolatoren voor de thans in toenemende mate gebruikte golflengtegebieden rondom 8,6 en 4,3 mm (frequenties 35 GHz en 70 GHz), magneetvelden van resp. ca. 10^6 A/m (12 500 oersted) en 2×10^6 A/m (25 000 oersted) nodig zouden zijn. De eigenschappen van de thans beschikbare materialen voor permanente magneten laten echter niet toe hiermee een veld van 2×10^6 A/m op te wekken; een veld van 10^6 A/m nog wel, maar de magneet wordt dan onhandig groot en zwaar.

Men kan evenwel volstaan met een veel zwakker uitwendig veld, of het gebruik hiervan zelfs geheel achterwege laten, indien men de resonantie laat optreden in een hard magnetisch materiaal, met name in een gericht anisotroop ferriet, d.i. een ferriet waarin de voorkeursrichtingen van de kristallieten evenwijdig georiënteerd zijn. De hier gebruikte anisotrope ferrieten hebben alle een hexagonale kristalstructuur, met de hoofdas als voorkeursrichting. De elektronenspins richten zich bij voorkeur evenwijdig met deze as. Het magnetiseren van dergelijk materiaal in een andere richting dan die van de hexagonale as, kost zeer veel méér energie. De stijfheid waarmee de spinoriëntatie aan deze voorkeursrichting gebonden is, drukt men uit in de grootte van het magneetveld — het zg. anisotropieveld — dat men bij gebruik van isotroop materiaal zou moeten aanleggen om de spins met dezelfde stijfheid aan de richting van dat veld te binden. Door deze wijze van definiëren is het veld H waarbij volgens verg. (1) voor een zekere frequentie magnetische resonantie optreedt, eenvoudig gelijk aan de som van het anisotropieveld H_a en het uitwendige veld H_u.

Uit het voorgaande volgt dat men, zoals reeds werd medegedeeld, het uitwendige veld geheel kan weglaten indien H_a precies de vereiste waarde heeft. Uit constructief oogpunt is weglaten natuurlijk zeer aanlokkelijk, maar er zijn ook bezwaren aan verbonden. In de eerste plaats is het materiaal zonder uitwendig veld vaak minder goed verzadigd, d.w.z. een groter aantal weissgebiedjes heeft een „verkeerde" oriëntatie, waardoor de — uiteraard ongewenste — demping van de microgolven in de doorlaatrichting groter is. In de tweede plaats kan, indien men geen voorzorgsmaatregelen neemt, de goede werking van een dergelijke richtingsisolator bedorven worden door een storend uitwendig magneetveld dat de magnetisatie vermindert of, indien het sterker is dan de coërcitieve veldsterkte (voor de thans in gebruik zijnde materialen ca. 2×10^4 A/m), deze zelfs geheel doet verdwijnen.

We zullen in dit artikel zowel isolatoren mèt als zonder uitwendig veld beschrijven.

In de richtingsisolatoren voor het golflengtegebied rondom 8,6 mm (de zg. Q-band) blijkt *topotactisch* gericht materiaal [2]) van de samenstelling $Ba(Zn_{0,35}Mn^{II}_{0,15}Ti_{0,5})(Fe_{0,95}Mn^{III}_{0,05})_{11}O_{19}$ dat een anisotropieveld van ruim 85×10^4 A/m heeft, zeer geschikt te zijn. Het uitwendige veld hoeft dan niet groter te zijn dan ca. 18×10^4 A/m. Voor de golflengten rondom 4,3 mm (de V-band) heeft men materiaal nodig met een nog veel groter anisotropieveld. Dergelijke materialen zijn kort geleden ontwikkeld in het Philipslaboratorium te Irvington [3]). Eén daarvan, met een anisotropieveld van ca. 188×10^4 A/m, is zeer geschikt voor gebruik in een resonantie-isolator voor 4-mm-golven.

De voor een bepaalde toepassing wenselijke waarde van het anisotropieveld verkrijgt men door in het materiaal waarvan men uitgaat — bij het 8-mm-materiaal een barium- en bij het 4-mm-materiaal een strontiumferriet —, een zekere fractie van de Fe-atomen te vervangen door andere. Op grond van het feit dat men de grootte van het anisotropieveld binnen zekere grenzen in de hand heeft, wordt als verzamelnaam voor materialen van dit type de afkorting c.u.a.f. (controlled uniaxial anisotropy ferrites) voorgesteld. Van de beide zojuist genoemde materialen is de soortelijke weerstand zeer groot ($>10^7$ Ωcm); de diëlektrische verliezen zijn verwaarloosbaar.

Er zij nog opgemerkt dat het toelaatbare vermogen in de richtingsisolatoren beperkt wordt door de temperatuurverhoging die de geabsorbeerde energie in het ferriet teweegbrengt. Indien nl. de temperatuur een zekere waarde overschrijdt, begint de demping in de keerrichting merkbaar af te nemen. Zo mag de energiedissipatie in de richtingsisolatoren voor 8-mm-golven gemiddeld 1 W niet te boven gaan.

[2]) Zie F. K. Lotgering, Topotactisch gerichte ferromagnetica, Philips techn. T. **20**, 367-368, 1958 (no. 12).

[3]) F. K. du Pré, D. J. de Bitetto en F. G. Brockman, Magnetic materials for use at high microwave frequencies (50-90 GHz), J. appl. Phys. **29**, 1127-1128, 1958 (no. 7).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Richtingsisolatoren met zwak uitwendig magneetveld

De constructie van resonantie-isolatoren met uitwendig veld vindt men schematisch afgebeeld in *fig. 1a*. Tegen de brede wand van een rechthoekige golfpijp bevinden zich op een geschikte plaats naast elkaar een plaatje c.u.a.f.-materiaal en een plaatje kwartsglas. Wat de vorm en de plaatsing van het ferriet betreft, is deze constructie een tussenvorm tussen twee extremen, waarbij een zeer dun ferrietplaatje zich bevindt hetzij in een vlak evenwijdig met de elektrische krachtlijnen (zie voor het verloop van de krachtlijnen *fig. 2*), hetzij in een vlak evenwijdig met de magnetische krachtlijnen (fig. 1*b* en *c*). In het eerste van deze beide grensgevallen wordt het veld in de golfpijp aanzienlijk vervormd door de aanwezigheid van het ferrietplaatje en moet men maatregelen nemen om de dientengevolge optredende reflexie te beperken. Dit geschiedt dikwijls door het plaatje aan de uiteinden op geschikte wijze schuin af te snijden. Verder is de verhouding van de (in decibels gemeten) verzwakkingen die de golven in de doorlaat- en in de keerrichting ondergaan — deze verhouding kan men beschouwen als een soort kwaliteitsgetal —, meestal minder gunstig dan bij een richtingsisolator waarin het ferrietplaatje evenwijdig met de magnetische krachtlijnen is opgesteld. Bij de isolatoren van het laatstgenoemde soort behoeft men echter een wat sterker magneetveld — wat alleen een bezwaar is indien men een zacht ferriet gebruikt — en is men nogal beperkt in de breedte van de strip, d.w.z. in de maximaal bereikbare verzwakking per lengte-eenheid [4]).

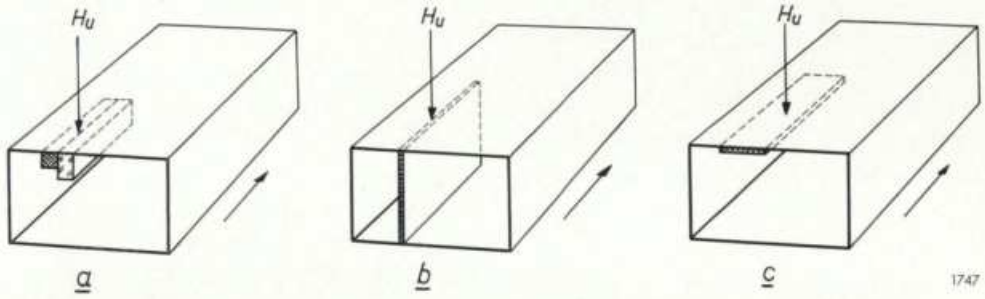


Fig. 1. Schets van richtingsisolatoren voor microgolven, waarin de demping plaatsvindt door gyromagnetische resonantie in een ferriet.
a) Werkelijke uitvoering.
b) Extreem geval met dun ferrietplaatje evenwijdig met het vlak der elektrische krachtlijnen (*E*-vlak).
c) Idem met ferriet evenwijdig met het vlak der magnetische krachtlijnen (*H*-vlak).
In alle drie de figuren is H_u het uitwendige magneetveld en geeft de pijl naast de golfpijp de doorlaatrichting van de isolator aan.

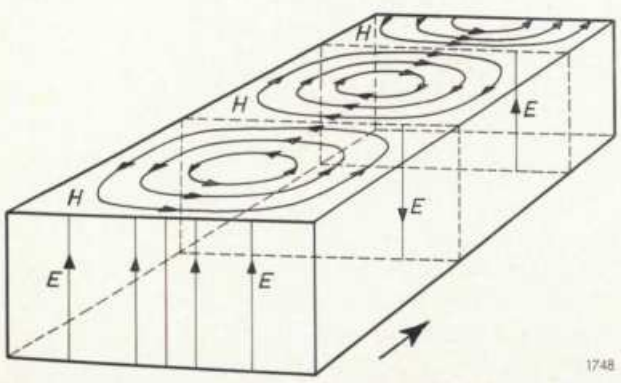


Fig. 2. Bij de trillingswijze TE_{10} van een rechthoekige golfpijp staan de elektrische krachtlijnen (*E*) loodrecht op de brede zijvlakken en zijn de magnetische krachtlijnen (*H*) evenwijdig met deze zijvlakken.

Bij de door ons gekozen tussenvorm, die in de praktijk uitstekend blijkt te voldoen, is schuin afsnijden van het ferriet niet nodig. Door de vrij grote dikte van het ferrietplaatje is de verzwakking per cm aanzienlijk. Ook de verhouding van de verzwakkingen in de keerrichting en de doorlaatrichting is groot. Deze gunstige eigenschap is mede te danken aan de aanwezigheid van het plaatje kwartsglas. Ten gevolge van het feit dat een groot deel van de microgolfenergie de golfpijp doorloopt via en nabij het kwartsplaatje (diëlektrische constante ≈ 4, diëlektrische verliezen zeer klein) is nl. de verzwakking in de keerrichting aanzienlijk groter dan bij een isolator zonder diëlektricum, maar die in de doorlaatrichting niet. Op de verklaring van deze gecompliceerde verschijnselen zullen we niet nader ingaan.

In de richtingsisolator voor golflengten rondom 8,6 mm [5]) (*fig. 3*) zijn in elkaars verlengde twee

[4]) Het feit dat een sterker magneetveld nodig is, kan men direct uit formule (2) afleiden. In het geval van de *H*-vlakstrip is nl. $N_y \approx 1$ en $N_x \approx N_z \approx 0$, waartegenover voor de *E*-vlakstrip geldt: $N_x \approx 1$ en $N_y \approx N_z \approx 0$.

[5]) Zie ook H. G. Beljers, Ferrite isolators in the 8-9 mm wave band, Commun. Congrès int. Circuits et Antennes Hyperfréquences, Parijs 21-26 okt. 1952 deel II (Suppl. Onde électrique **38**, 376 ter), 647-648, 1958.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

balkjes gemonteerd van het reeds genoemde c.u.a.f.-materiaal met een anisotropieveld van 85×10^4 A/m. De afmetingen ervan zijn $12 \times 0{,}80 \times 0{,}40$ mm en $12 \times 0{,}80 \times 0{,}36$ mm. Door de breedte van de balkjes iets verschillend te kiezen, verkrijgt men een bredere karakteristiek (*fig. 4*). De resonantiefrequenties zijn nl. voor beide balkjes ietwat verschillend ten gevolge van de iets verschillende ont-

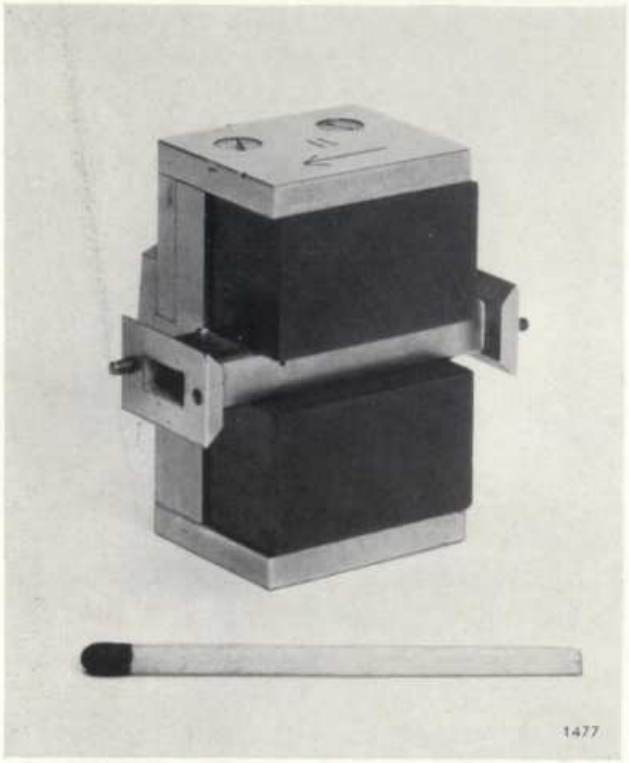


Fig. 3. Richtingsisolator voor 8,6-mm-golven met gericht anisotroop ferromagnetisch materiaal (anisotropieveld 85×10^4 A/m) en zwak uitwendig magneetveld (18×10^4 A/m). Dit veld wordt opgewekt door een permanente magneet bestaande uit twee blokken ferroxdure met ijzeren sluitjuk.

magnetiseringsfactoren. Het uitwendige magneetveld bedraagt ca. 18×10^4 A/m. Het wordt geleverd door een permanente magneet bestaande uit twee blokken ferroxdure met een ijzeren sluitjuk. Door middel van een luchtspleet met verplaatsbare sluitplaat kan het uitwendige veld enigszins gevarieerd worden. De waarde ervan wordt zo gekozen dat het samen met het anisotropieveld juist de veldsterkte oplevert die voor het optreden van gyromagnetische resonantie bij 35 GHz vereist is.

In de resonantierichtingsisolator voor het golflengtegebied rondom 4,3 mm (*fig. 5*) zijn balkjes gebruikt van het c.u.a.f.-materiaal met anisotropieveld van 188×10^4 A/m. De ferrietbalkjes zijn hier juist half zo groot als in de isolator voor 8,6 mm.

Richtingsisolator zonder uitwendig magneetveld

De bouw van de richtingsisolator zonder uit-

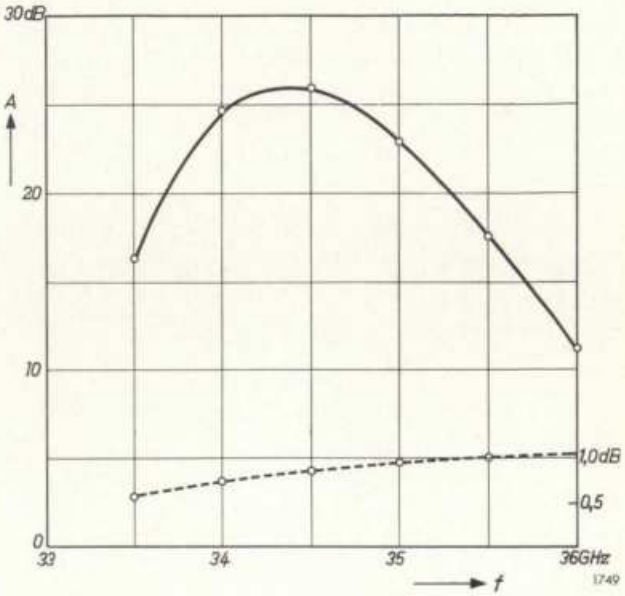


Fig. 4. Doorlaatkarakteristieken (verzwakking A tegen frequentie f) van de resonantierichtingsisolator met uitwendig magneetveld, voor 8,6 mm. De schaalwaarden links hebben betrekking op de kromme die geldt voor de keerrichting (getrokken lijn), die rechts voor de kromme die geldt voor de doorlaatrichting (streeplijn). De maximale verhouding tussen de (in decibel gemeten) verzwakkingen die in de beide richtingen optreden, is ongeveer 30 en wordt verkregen bij een frequentie van ongeveer 34,3 GHz ($\lambda = 8{,}7$ mm).

wendig veld, die we hier nog willen beschrijven, wijkt aanzienlijk af van die van de andere. In deze isolator bevinden zich nl. ferrietstripjes aan beide zijden van een plaatje diëlektrisch materiaal (hier aluminiumoxyde met een diëlektrische constante

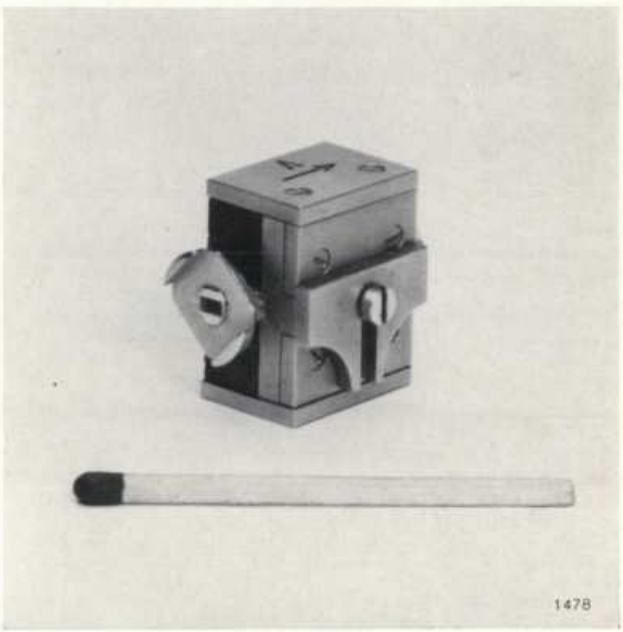


Fig. 5. Resonantierichtingsisolator voor 4,3-mm-golven. Anisotropieveld van het magnetische materiaal ca. 188×10^4 A/m. Uitwendig magneetveld ca. 16×10^4 A/m. Aan de voorkant ziet men de verplaatsbare sluitplaat, met behulp waarvan men de sterkte van het uitwendige magneetveld op de juiste waarde kan instellen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van 9). De twee ferrietstripjes, die hier evenals het diëlektricum de gehele hoogte van de golfpijp in beslag nemen, zijn in tegengestelde richting gemagnetiseerd. Met de wanden van de golfpijp, die ter wille van de magnetische afscherming van ijzer zijn, vormen ze een gesloten magnetisch circuit, zodat er geen ontmagnetisering is. Het geheel is opgesteld in het midden van de golfpijp (*fig. 6* en 7).

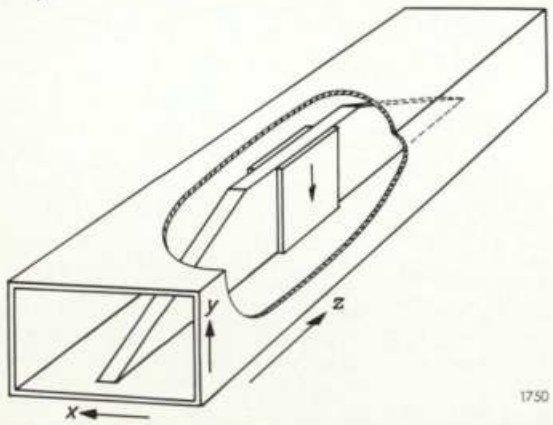


Fig. 6. Schematische tekening van een resonantie-isolator voor 8,6-mm-golven waarbij géén uitwendig magneetveld behoeft te worden aangelegd. Twee dunne ferrietplaatjes ($2{,}0 \times 3{,}5 \times 0{,}15$ mm; anisotropieveld 85×10^4 A/m) bevinden zich hier ter weerszijden van een midden in de golfpijp opgesteld plaatje aluminiumoxyde (dikte 1,1 mm). De einden van dit plaatje zijn afgeschuind ter voorkoming van reflexie. Het zichtbare ferrietplaatje is gemagnetiseerd in de richting van de pijl, het andere tegenovergesteld. De doorlaatrichting is die van de positieve z-as.

Ook bij dit type doorloopt een groot deel van de microgolfenergie de golfpijp via en nabij het diëlektricum. Uit een berekening blijkt dat de invloed van de zijwanden van de golfpijp van ondergeschikte betekenis is. Verder blijkt dat het magneetveld van de microgolven in de zijvlakken van het plaatje diëlektrisch materiaal elliptisch gepolariseerd is. De ellipticiteit (we verstaan daaronder de verhouding H_x/H_z, vgl. fig. 6) neemt, naarmate men het plaatje dikker maakt, asymptotisch af tot de waarde $\sqrt{\varepsilon/(\varepsilon-1)}$, d.i. in ons geval ca. 1,06. Zoals reeds eerder werd opgemerkt, is voor het verkrijgen van een zo gering mogelijke demping in de doorlaatrichting een elliptische polarisatie juist noodzakelijk. Berekening leert dat de ellipticiteit van het draaiveld de waarde

$$\sqrt{\frac{H_a + M(N_x - N_y)}{H_a + M(N_z - N_y)}}$$

moet hebben. Voor zeer dunne ferrietplaatjes nadert deze uitdrukking tot

$$\sqrt{(H_a + M)\,/\,H_a}\,,$$

welke uitdrukking in ons geval ongeveer de waarde 1,12 aanneemt.

Uit dit alles kan men enerzijds afleiden dat de dikte van het plaatje aluminiumoxyde hier van groot belang is, en anderzijds dat deze dikte inderdaad zodanig gekozen kan worden dat aan de gestelde eis voldaan is. Door de symmetrische opstelling van het geheel is het hier natuurlijk niet mogelijk om, zoals bij de twee eerder besproken isolatoren, de afmetingen van de materialen min of meer vrij te kiezen en vervolgens de demping in de doorlaatrichting zo klein mogelijk te maken door voor het plaatje met de ferrietstripjes in de golfpijp de gunstigste plaats op te zoeken.

Gebleken is dat men het beste resultaat verkrijgt indien men diëlektricum en ferriet de afmetingen geeft die men vermeld vindt in het onderschrift van fig. 6 en die goed aansluiten bij de berekende waarden. Om reflexies te vermijden, is de plaat hier weer aan de uiteinden afgeschuind. Als ferriet

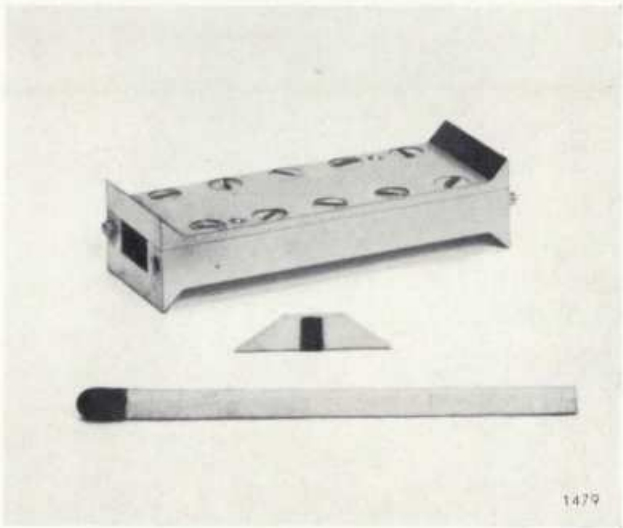


Fig. 7. De resonantierichtingsisolator voor 8,6-mm-golven zonder uitwendig magneetveld, die men schematisch vindt afgebeeld in fig. 6. Ervoor ziet men het plaatje aluminiumoxyde met ferrietstrippen dat in de isolatoren van dit type is aangebracht.

kan hetzelfde materiaal gebruikt worden als in de isolator met uitwendig magneetveld. Door de geheel andere vorm van de ferrietplaatjes heeft de resonantiefrequentie toevallig toch de goede waarde. *Fig. 8* toont de karakteristieken van een der eerste exemplaren die tijdens de ontwikkeling van dit type richtingsisolator vervaardigd werden.

Het feit dat men bij deze isolator zonder uitwendig magneetveld toch met hetzelfde c.u.a.f.-materiaal de gewenste resonantiefrequentie verkrijgt, kan aangetoond worden met de volgende berekening. Voor zeer dunne ferrietplaatjes zijn N_y en N_z verwaarloosbaar en is $N_x \approx 1$, zodat formule (2) overgaat in:

$$f = 0{,}035\,\sqrt{(H + M)H}\,. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Gegeven de M-waarde van 28×10^4 A/m (3500 gauss) die het materiaal heeft, en de gewenste resonantiefrequentie van

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

35 GHz, komt men op een H-waarde van 86×10^4 A/m. Dit is vrijwel de sterkte van het anisotropieveld. Voor de isolator

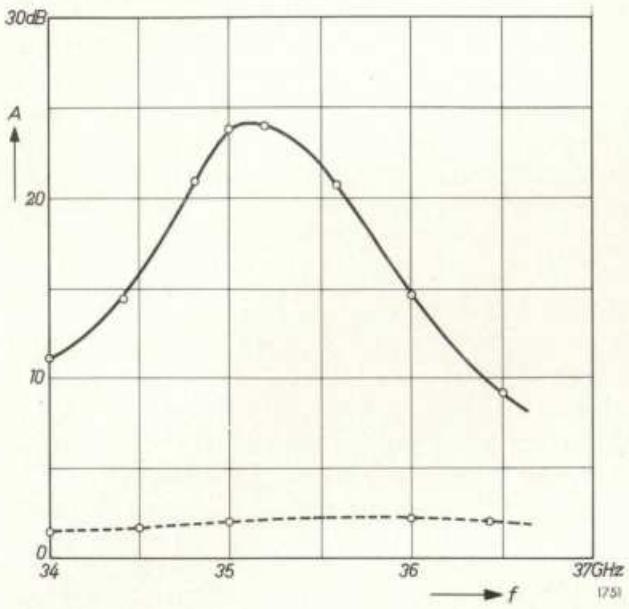


Fig. 8. Doorlaatkarakteristieken van de resonantie-isolator zonder uitwendig magneetveld. De verhouding der verzwakkingen is hier maximaal 12.

met uitwendig veld, waar $N_x \approx {}^4/_5$, $N_y \approx \frac{1}{3}$ en $N_z \approx 0$, geldt:

$$f = 0{,}035\ \sqrt{(H_a + H_u + {}^7/_{15}M)\ (H_a + H_u - \tfrac{1}{3}M)}\,, \qquad (4)$$

hetgeen met $H_u = 18\times10^4$ A/m een H_a-waarde van ruim 82×10^4 A/m oplevert. (Het feit dat N_x hier ${}^4/_5$ is, en niet $\frac{2}{3}$ zoals men zou verwachten, wordt veroorzaakt doordat hier ook de zg. spiegeling van het ferriet in de wand van de golfpijp in aanmerking genomen moet worden.) Gezien de invloed van het diëlektricum op de resonantiefrequentie is de overeenstemming redelijk goed te noemen.

Samenvatting. Door gebruik te maken van het verschijnsel der gyromagnetische resonantie, dat bij aanwezigheid van een magneetveld van de juiste sterkte optreedt in magnetische materialen, kan men niet-reciproke transmissie-elementen voor elektromagnetische golven construeren, zoals richtingsisolatoren. Voor golven in het millimetergebied moet het magneetveld zo sterk zijn (voor 8-mm-golven 10^6 A/m, voor 4 mm-golven 2×10^6 A/m) dat het met een permanente magneet niet of slechts ten koste van zeer veel materiaal kan worden opgewekt. Men heeft thans echter gerichte anisotrope ferrieten ontwikkeld die in één richting een zeer groot zg. anisotropie-veld hebben. Daar men de sterkte van dit veld in mindering kan brengen op het in totaal vereiste magneetveld, kan men met deze materialen richtingsisolatoren maken die geen of slechts een zwak uitwendig veld behoeven. Beschreven worden dergelijke richtingsisolatoren voor de golflengtegebieden rondom 8,6 mm en 4,3 mm (resp. 35 en 70 GHz).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

GEBRUIKSMOGELIJKHEDEN VAN CENTIMETERGOLFTRIODES

door J. P. M. GIELES.

621.385.3.029.6

In de laatste jaren zijn bij Philips een aantal schijftriodes ontwikkeld die geschikt zijn voor golflengten van 7,5 cm, 5 cm of nog korter. Het onderstaande artikel bespreekt van deze triodes enige reeds gerealiseerde en enige nog in ontwikkeling zijnde gebruiksmogelijkheden, o.a. in straalzenderverbindingen voor telefonie en televisie.

Triodes voor centimetergolven bezitten verscheidene aantrekkelijke eigenschappen. Naast gunstige fazekarakteristieken, een lange levensduur en gemakkelijke vervanging kunnen we noemen:
triodes zijn, in vergelijking met andere buistypen voor het centimetergolfgebied, gemakkelijk te vervaardigen;
men heeft geen hoge spanningen nodig;
de waarde van het produkt $G \times B$ is groot, d.w.z. ook bij grote bandbreedte B krijgt men een flinke versterking G.

Een voordeel van triodes voor centimetergolven boven andere voor dat gebied bestaande buizen is ook hun grote flexibiliteit: triodes zijn relatief eenvoudige schakelelementen, en door hun eenvoud zijn zij geschikt voor een groot aantal

Tabel I. Overzicht van enkele gegevens van bij Philips ontwikkelde of in ontwikkeling zijnde triodes voor centimetergolven. De laatste twee buizen zijn ontworpen voor een frequentie van 6000 MHz, de overige voor 4000 MHz. In verscheidene functies kunnen de buizen echter met succes worden gebruikt tot frequenties die ca. een factor 2 hoger liggen.

	EC 157	EC 59	OZ 92	49 AL	22 EC	5 cm, 1 W	5 cm, 10 W
Publikaties	[1][2][7][8][9][10][11][12]	[3][4][7][9][12]	[5]	[12]	—	[6][12]	[12]
Diameter katode (mm)	3,2	4,5	4,5	4,5	4	3,1	4,5
Afstand katode-rooster (μ)	40	60	60	40	40	25	40
Afstand rooster-anode (μ)	240	300	300	300	240	300	500
Diameter roosterdraad (μ)	7,5	30	30	15	12	7,5	15
Spoed van het rooster (μ)	50	130	130	90	75	40	90
Anodespanning (V)	180	500	500	220	180	300	600
Anodestroom (mA)	60	250	250	200	140	60	300
Stroomdichtheid (A/cm^2)	0,8	1,6	1,6	1,3	1,2	0,8	1,9
Steilheid (mA/V)	19	20	20	30	25	27	20
Versterking op laag niveau bij een bandbreedte van 100 MHz op 3 dB beneden de top (dB)	13	10	10	12	12	10	10
Uitgangsvermogen bij 8 dB versterking (W)	1,5	12	12	6	5	1,2	—
AM-PM-conversie bij 8 dB versterking (°/dB)	—0,8	—1,2	—1,2	—1,0	—	—	—
Koeling	lucht *)	water	water of lucht	lucht	lucht *)	lucht	water

*) Er is een versterker in ontwikkeling waarbij de koeling op natuurlijke wijze door convectie en straling plaatsvindt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

functies. In gecompliceerde apparatuur die zeer veel buizen bevat, zoals die van een relaispost in een straalzenderverbinding, is het van groot praktisch en economisch belang het aantal buistypen tot een minimum te beperken. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de triode juist daar een belangrijk toepassingsgebied kan vinden, en in verschillende door Philips gerealiseerde installaties reeds heeft gevonden.

Tabel I geeft een overzicht van de bij Philips in de laatste jaren ontwikkelde of nog in ontwikkeling zijnde centimetergolftriodes. In dit artikel zullen achtereenvolgens worden besproken de toepassing als:

versterker,
frequentievermenigvuldiger,
oscillator,
mengbuis,
amplitudebegrenzer,
amplitudemodulator,
frequentiemodulator, en
detector van sterke signalen.

De meeste toepassingen zijn bestudeerd aan de EC 157. Men mag verwachten dat de andere buistypen zich in gelijkwaardige schakelingen overeenkomstig zullen gedragen.

Versterking

Centimetergolftriodes voor versterkingsdoeleinden kan men naar het signaalniveau onderscheiden in voorversterkers en eindversterkers. Van de voorversterkbuizen zijn in dit tijdschrift besproken de EC 157 en de buis voor 5 cm, 1 W, van de eindversterkbuizen de EC 59 en de OZ 92. Voor bijzonderheden zie de bij tabel I vermelde artikelen. Wat de versterking betreft, zij hier nog opgemerkt dat men deze, dank zij het grote produkt $G \times B$, tot ver boven de in de tabel gegeven waarden kan opvoeren door de bandbreedte te verkleinen. Zo werd b.v. de bandbreedte van een versterker met een EC 157 verminderd van 100 MHz tot ca. 40 MHz, waarbij de versterking bleek toe te nemen van 12 dB ($= 16\times$) tot 17 dB ($= 50\times$). Een cascadeschakeling van drie versterkers met EC 157 leverde bij een bandbreedte van 40 MHz een totale versterking van 50 dB.

Minder bekend is het gebruik van de EC 157 als ruisarme eerste versterktrap bij frequenties beneden ca. 1000 MHz, voornamelijk in installaties voor het meten van radiostraling uit het heelal. Hoewel deze buis door zijn schijfconstructie (te grote capaciteiten, beperkte schakelmogelijkheden) in het algemeen niet bijzonder geschikt is als voorversterker bij frequenties die ver beneden de ontwerpfrequentie (4000 MHz) liggen, zijn nl. juist daar de ruiseigenschappen van het elektrodesysteem gunstig in vergelijking met die van een kristalmengtrap als eerste trap. Het minimumruisgetal, dat een buiseigenschap is, kan bij iedere frequentie gevonden worden door de aanpassing wat te variëren. *Fig. 1* geeft het gemiddelde van de minimumruisgetallen in dB van 13 buizen EC 157, gemeten als functie van de frequentie [13]).

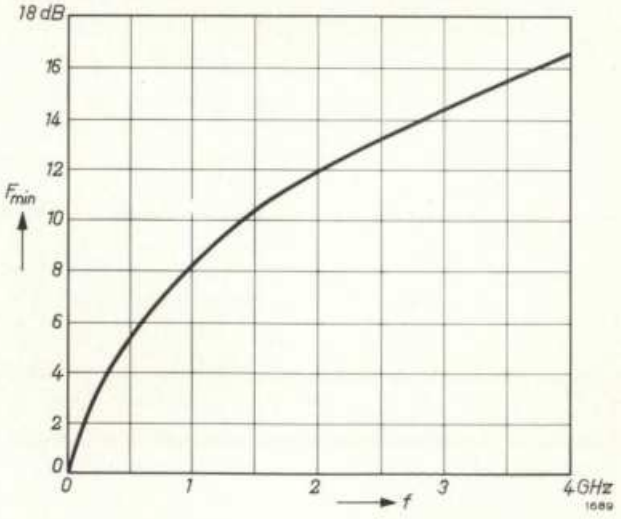


Fig. 1. Gemiddelde F_{min} van de minimumruisgetallen in dB van 13 buizen EC 157, gemeten als functie van de frequentie.

[1]) G. Diemer, K. Rodenhuis en J. G. van Wijngaarden, De EC 57, een schijftriode voor microgolven met L-katode, Philips techn. T. **18**, 321-328, 1956. De EC 157 onderscheidt zich van het oude type EC 57 door een katode met langere levensduur.

[2]) J. P. M. Gieles, Een bredebandversterker met schijftriode voor 4000 MHz, Philips techn. T. **19**, 149-161, 1957.

[3]) V. V. Schwab en J. G. van Wijngaarden, De EC 59, een zendtriode met 10 W vermogen bij 4000 MHz, Philips techn. T. **20**, 295-304, 1958.

[4]) J. P. M. Gieles en G. Andrieux, Een bredebandversterker met een uitgangsvermogen van 10 W bij 4000 MHz, Philips techn. T. **21**, 75-81, 1959 (no. 2/3).

[5]) E. Mentzel en H. Stietzel, Een schijftriode in metaal-keramiekuitvoering voor frequenties tot 6000 MHz, Philips techn. T. **21**, 115-120, 1959 (no. 4).

[6]) M. T. Vlaardingerbroek, Een experimentele triode voor 6000 MHz, Philips techn. T. **21**, 182-186, 1959 (no. 6).

[7]) J. G. van Wijngaarden, Possibilities with disc-seal triodes, Onde électr. **36**, 888-892, 1956.

[8]) K. Rodenhuis, A 4000 Mc/s triode with L-cathode construction and circuit, Le Vide **12**, 23-31, 1957.

[9]) G. Andrieux, Amplificateurs de puissance à triodes pour 4000 Mc/s, Onde électr. **37**, 777-780, 1957.

[10]) J. P. M. Gieles, The measurement of group delay in triode amplifiers at 4000 Mc/s, Onde électr. **37**, 781-788, 1957.

[11]) M. T. Vlaardingerbroek, Measurement of the active admittances of a triode at 4 Gc/s, Proc. Instn. Electr. Engrs. **105 B**, suppl. no. 10, 563-566, 1958.

[12]) H. Groendijk, Microwave triodes, Proc. Instn. Electr. Engrs. **105 B**, suppl. no. 10, 577-582, 1958.

[13]) Deze metingen zijn verricht door G. A. W. J. Spanhoff en N. van Hurck. Voor de toepassing van de EC 157 in een versterker voor radioastronomie, zie Ch. L. Seeger, F. L. H. M. Stumpers en N. van Hurck, Een 75-cm-ontvanger voor radioastronomie en enige hiermee verkregen resultaten, Philips techn. T. **21**, 313-329, 1959 (no. 11).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het sterkste punt van de kortegolftriodes: met eenvoudige middelen en een hoog rendement een groot uitgangsvermogen te kunnen produceren bij een grote bandbreedte, maakt ze bijzonder aantrekkelijk voor toepassing als eindversterker. Bij de toepassing in straalzenders is het daarbij van het grootste belang dat eventuele amplitudevariaties geen storende fazevariaties en daarmee vervorming ten gevolge hebben. De mate waarin dit het geval is, heet de AM-PM-conversie van de buis; hij wordt uitgedrukt in graden fazevariatie van de uitgangsspanning ten gevolge van een variatie van 1 dB van het ingangssignaal. Bij triodes is de AM-PM-conversie van de orde van slechts $-1°$/dB; zij onderscheiden zich daarmee gunstig van andere kortegolfbuizen.

Een bijzondere plaats neemt de dubbele versterker in. De mogelijkheid bestaat nl. om twee versterkers parallel te schakelen, waardoor bij dezelfde versterking het uitgangsvermogen wordt verdubbeld. *Fig. 2* toont een dergelijke paralleleindtrap voor 4000 MHz, uitgerust met twee buizen 49 AL. Deze eindtrap kan bij 220 V anodespanning een vermogen van 10 W produceren bij een versterking van ruim 8 dB. Beide versterkers zijn voorzien van richtingsisolatoren, juist zoals een enkelvoudige versterker. (De gegevens bij fig. 2 wijken daardoor iets af van die in tabel I.)

Op deze wijze zijn in het laboratorium met twee buizen EC 59 vermogens tot 50 W bij 4000 MHz bereikt. In straalzenders zal men veelal niet verder gaan dan 10 of 20 W, wat voor een goede verbinding ruimschoots voldoende is. Behalve de eigenschap van het dubbele uitgangsvermogen bezit de paralleleindtrap een grotere betrouwbaarheid dan een enkele trap, doordat bij geschikte dimensionering het uitvallen van een eindbuis de verbinding niet behoeft te onderbreken.

Het gebruik van triodes als versterker voor centimetergolven wordt misschien het best geïllustreerd aan de hand van de toepassing in een rechtuit-relaispost in een straalzenderverbinding, d.i. een relaispost waarbij alle versterking plaatsvindt zonder transpositie naar een middenfrequentie. Deze methode van versterking is de logische consequentie van het feit dat de triode als versterker bij centimetergolven aanmerkelijk beter is dan de bestaande middengolfbuizen bij de middenfrequenties. In verband met doorschakel- en modulatieproblemen leent een rechtuit-relaispost zich niet direct voor algemeen gebruik, maar voor verbindingen over lange afstand levert hij groot voordeel doordat de fazevervorming veel geringer is dan bij middenfrequentieversterkers. Een laboratoriumconstructie van een dergelijke relaispost is afgebeeld in *fig. 3*. *Fig. 4* geeft het blokschema ervan.

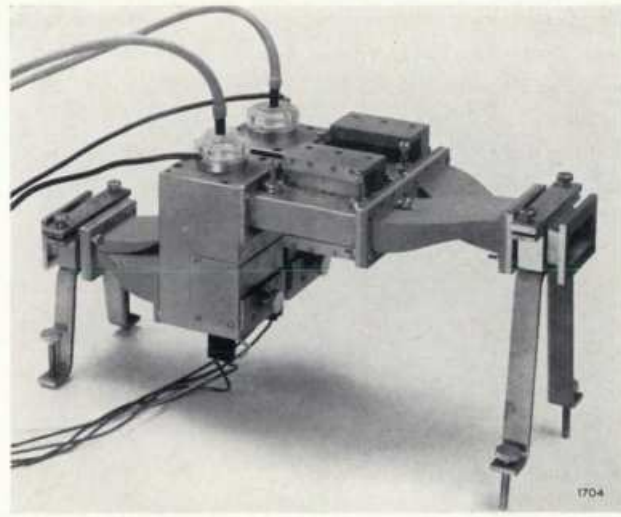


Fig. 2. Paralleleindtrap, bestaande uit twee versterkers die elk zijn uitgerust met de kortegolftriode 49 AL.

Frequentie	4000 MHz	Bandbreedte	100 MHz
Anodespanning	220 V	Versterking	8,2 dB
Anodestroom	2×200 mA	Uitgangsvermogen	10 W
Koellucht	27 l/min onder een druk van 10 cm water.		

Na een zesdelig ingangsfilter F_1 volgen vier voorversterktrappen met buizen EC 157. Alle versterkers zijn gekoppeld via richtingsisolatoren *D*. Met behulp van een frequentieverschuivingstrap *M*, die in het hoofdstuk Menging zal worden besproken, worden de frequenties van in- en uitgangssignaal zo ver uit elkaar gelegd dat genereren door terugkoppeling via de antennes onmogelijk is. De frequentieverschuiving is op aanbeveling van het Comité Consultatif International des Radiocommunications vastgesteld op 213 MHz. Na een driedelig filter F_2, voor onderdrukking van de ongewenste produkten van de frequentieverschuivingstrap, en nog drie versterktrappen wordt een klein gedeelte van het signaal afgenomen, dat een automatische sterkteregeling bewerkstelligt. Het werkt nl. via een gelijkstroomversterker *AVC* terug op het magnetische veld waarvan de demping door de ferrietverzwakker *At* afhangt. Het geheel zorgt ervoor dat het signaalniveau vlak voor de eindtrap binnen 0,5 dB constant blijft bij een maximale verandering van het ingangssignaal van 25 dB. De eindtrap is enkelvoudig en uitgerust met een EC 157, zodat het uitgangsvermogen van de gehele installatie ca. 1,5 W bedraagt. De bandbreedte van het geheel is op 0,1 dB beneden de top ca. 40 MHz, en de groeplooptijdvariatie over 20 MHz bedraagt zonder compensatie ca. 1 nanoseconde, dat is minder dan 1/10 van de waarde bij gebruikelijke middenfrequentieversterkers. De intermodulatieruis — die

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

het gevolg is van de niet-lineariteit van de fazekarakteristieken — is dan ook zeer gering. Het zwakke punt van deze relaispost is het ingangsruisgetal, dat ten gevolge van de verzwakking door ingangsisolator en ingangsfilter oploopt tot 18 dB. Dit bezwaar kan echter geheel worden opgeheven door het ingangssignaal te vergroten, d.w.z. van elke relaispost in de keten het zendvermogen op te voeren. Door b.v. achter de beschreven opstelling nog de paralleleindtrap van fig. 2 of een enkelvoudige eindtrap met een EC 59 te plaatsen, kan een uitgangsvermogen van 10 W worden bereikt.

Ten slotte kunnen triodes voor centimetergolven ook bij lagere frequenties met succes dienst doen als eindversterker. Voor straalzenderverbindingen op frequenties rond 2000 MHz wordt veelvuldig de EC 157 gebruikt. Een experimentele balanseindtrap met twee buizen EC 59 in klasse C leverde bij 900 MHz een uitgangsvermogen van 76 W [14]), wat ongeveer overeenkomt met wat andere buizen in dat frequentiegebied presteren.

---

[14]) Experiment van W. J. Smulders.

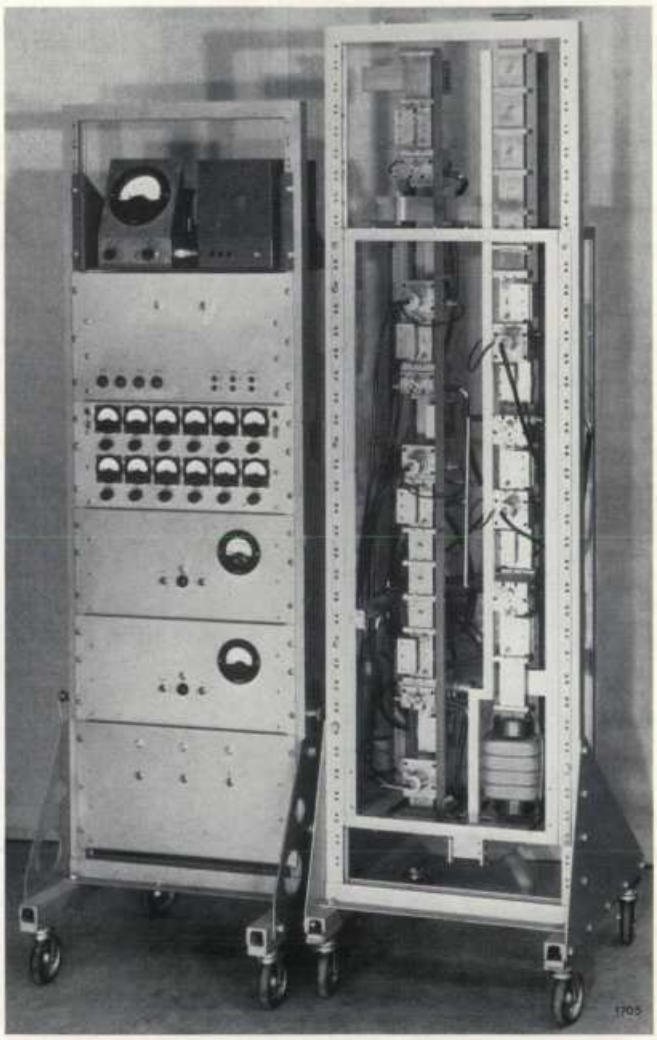


Fig. 3

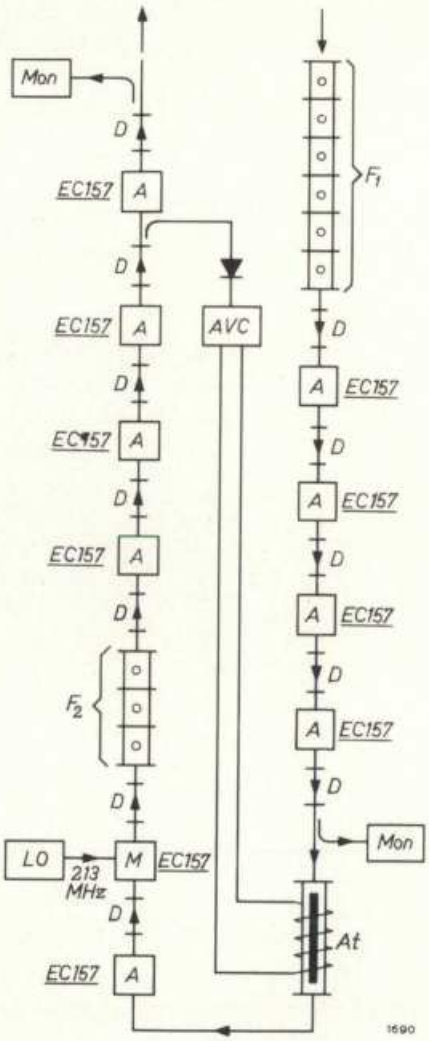


Fig. 4

Fig. 3. Een complete rechtuit-relaispost voor een straalzenderverbinding op 7,5 cm.
Fig. 4. Blokschema van de rechtuit-relaispost, waarbij alle versterking plaatsvindt in het frequentiegebied van 4000 MHz. F_1 zesdelig ingangsfilter. *D* richtingsisolatoren. *A* versterktrappen, uitgerust met buizen EC 157. *Mon* monitors. *At* ferrietverzwakker. *M* mengtrap voor de frequentieverschuiving tussen in- en uitgangssignaal. Deze frequentieverschuiving (213 MHz) voorkomt genereren door terugkoppeling via de antennes. *LO* lokale oscillator. F_2 driedelig filter, voor onderdrukking van de ongewenste frequenties. *AVC* gelijkstroomversterker voor het signaal dat de automatische sterkteregeling bestuurt. Uitgangsvermogen van het geheel ca. 1,5 W; bandbreedte op 0,1 dB beneden de top ca. 40 MHz; groeplooptijdvariatie over 20 MHz, zonder compensatie, ca. 1 ns.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Frequentievermenigvuldiging

In de gebruikelijke straalzenderapparatuur wordt het inkomende hoogfrequente signaal aan de ontvangzijde naar de middenfrequentie getransponeerd door het in een kristalmengtrap te mengen met het signaal van een lokale oscillator. Dit middenfrequente signaal wordt, na versterking, aan de zendzijde weer naar een hoogfrequentieband gebracht door middel van een tweede lokale oscillator (zie het hoofdstuk Menging). Er zijn dus twee lokale hoogfrequentieoscillators van zeer stabiele frequentie nodig. *Fig. 5* geeft het schema van een de EC 157, waarbij de frequentie ten slotte zelfs verzesvoudigd wordt. *Fig. 6* toont een complete lokale oscillator volgens fig. 5 zoals die in de Philips straalzenders wordt gebruikt. Het uitgangsvermogen is van de orde van 200 mW, wat voldoende is zowel voor de ontvang- als voor de zendzijde van een relaispost.

De hierboven genoemde frequentie van 4000 MHz is geenszins een grens; ook ver daarboven is de EC 157 geschikt als frequentievermenigvuldiger. In een proefopstelling werd een EC 157 bestuurd bij 4000 MHz met een ingangsvermogen van ca.

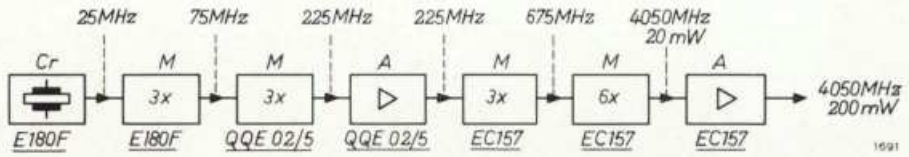


Fig. 5. Blokschema van een lokale oscillator [15]) voor een straalzenderpost. *Cr* kristaloscillator. *M* frequentievermenigvuldigers, de laatste twee met buizen EC 157. *A* versterkers.

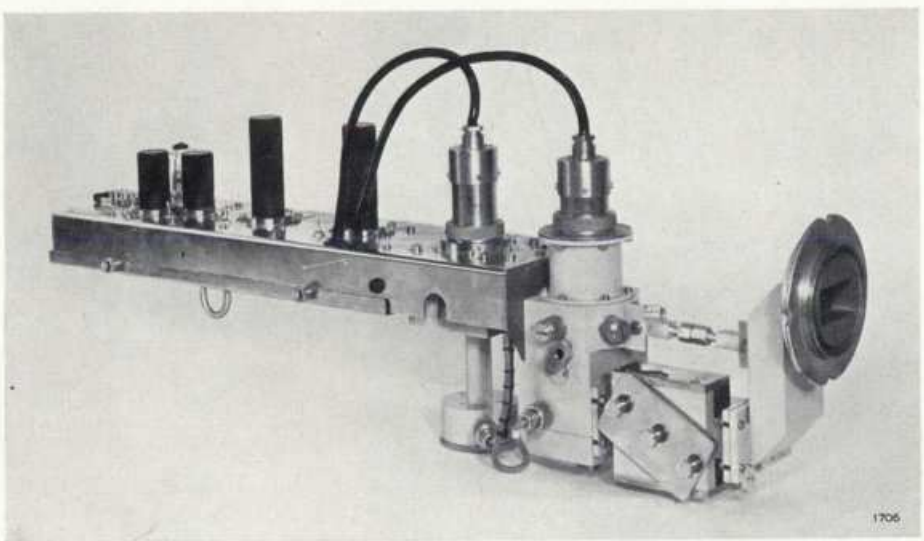


Fig. 6. Een complete lokale oscillator volgens fig. 5, gebruikt in de door Philips vervaardigde straalzenders.

gebruikelijke constructie ervan [15]). Men gaat uit van een kristaloscillator (*Cr*) waarvan de frequentie in de buurt van 25 MHz ligt, en bereikt de gewenste frequentie, b.v. in de buurt van 4000 MHz, via een aantal trappen frequentievermenigvuldiging (*M*). In de laatste trappen maakt men gebruik van 1 W. Door rond de anode een op de gewenste frequentie afgestemde kring aan te brengen, konden alle harmonischen tot 24 000 MHz worden verkregen. In *fig. 7* is een der gebruikte vermenigvuldigtrappen afgebeeld. Het beschikbare vermogen is vooral bij de hoogste frequenties niet groot, maar ruim voldoende om b.v. in frequentiestandaards te worden gebruikt. Men mag verwachten dat met de triode voor 5 cm, 1 W, geëxciteerd bij b.v. 8000 MHz, het mm-golfgebied zal kunnen worden bereikt.

[15]) Deze constructie is, evenals de hieronder besproken mengschakeling van fig. 11, ontwikkeld door H. J. Kramer in het straalzenderlaboratorium te Huizen van de N.V. Philips' Telecommunicatie-Industrie.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

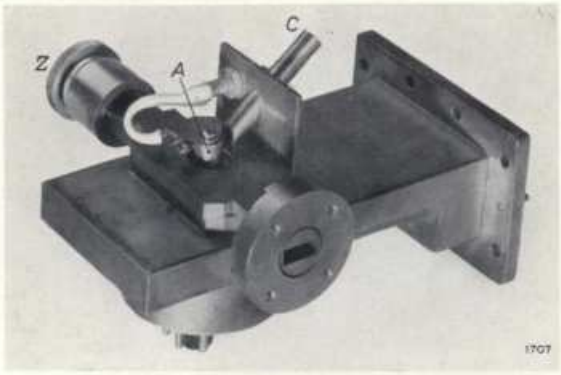


Fig. 7. Frequentievermenigvuldigtrap, uitgerust met een EC 157 en geschikt voor het verkrijgen van 20 000 MHz door vermenigvuldigen van 4000 MHz. *A* anode. *C* mondstuk van de koelluchttoevoer. *Z* regelknop voor afstemzuiger. Bij besturing met ca. 1 W is aan de uitgang ca. 0,1 mW bij 20 000 MHz beschikbaar.

Toepassing in oscillators

De in het vorige hoofdstuk beschreven lokale oscillator bevat voor de frequentievermenigvuldiging vele elektronenbuizen, die als even zovele potentiële bronnen van stagnatie kunnen worden beschouwd. Er is daarom gezocht naar de mogelijkheid van een oscillator die, met slechts één buis, rechtstreeks op de gewenste frequentie zou kunnen oscilleren met dezelfde stabiliteit als een kristaloscillator. De elementen voor een dergelijke lokale oscillator waren beschikbaar: de triode EC 157 kan in ieder opzicht wedijveren met de buizen voor lagere frequenties, en een zelfde hoge kwaliteitsfactor als die van het kristal kan voor hoge frequenties worden bereikt met behulp van een trilholte. Als materiaal hiervoor kan men „Invar" kiezen, dat evenals kwarts een zeer geringe thermische uitzettingscoëfficiënt bezit (beide ca. 10^{-6} per °C). Indien men aan de vulling van de trilholte dezelfde zorg besteedt als aan de omhulling van het kristal, mag men soortgelijke resultaten verwachten.

Fig. 8a geeft het schema, *fig. 9a* een foto van een volgens deze gedachte geconstrueerde oscillator voor 4000 MHz. De versterker *A* en de cilindrische trilholte *C* zijn opgenomen in een gesloten circuit van golfpijpen. Ze zijn beide afgesloten met een richtingsisolator (*D* resp. *E*). Voorts bevat het circuit een zg. magisch T-stuk *T* als uitkoppelelement. Het uitgangsvermogen van de versterker verdeelt zich hierin in twee gelijke delen (zie het onderschrift van fig. 8*b*). De ene helft gaat naar de uitgangsgolfpijp, de andere helft keert via de trilholte terug naar de ingang van de versterker. De vierde tak van *T* wordt reflectievrij afgesloten en absorbeert eventuele gereflecteerde golven, afkomstig van trilholte of belasting.

Uit een berekening is gebleken dat een optimale stabiliteit van de oscillator wordt verkregen als de anodebandbreedte van de versterker ca. 130 MHz bedraagt en de demping door de trilholte 4,6 dB. De uitkoppeling introduceert in het circuit een demping van 3 dB, de demping door elk der beide richtingsisolatoren is ca. 1 dB. Daar de versterking bij één rondgang 1 moet zijn, zal de buis zich dus instellen op een versterking van 9,6 dB; voor deze waarde en bij de bandbreedte van 130 MHz is zijn uitgangsvermogen 950 mW. De isolator *D* reduceert dit tot 750 mW, en de helft hiervan, dus 375 mW, komt beschikbaar als uitgangsvermogen.

De van Invar vervaardigde trilholte heeft zeer glad afgewerkte binnenwanden. Hij wordt gebruikt in de TE_{012}-trillingswijze en is zo gedimensioneerd dat de kwaliteitsfactor bij belasting 22 000 bedraagt. De inhoud bestaat uit droge lucht. De trilholte is luchtdicht afgesloten door middel van dunne micaplaatjes tegen de aansluitflenzen en een dichting van kunsthars langs de dekselranden.

Het instellen van de oscillator geschiedt als volgt. Tevoren wordt bij de gewenste frequentie de katodezijde van de versterker aangepast en aan de anodezijde de bandbreedte inge-

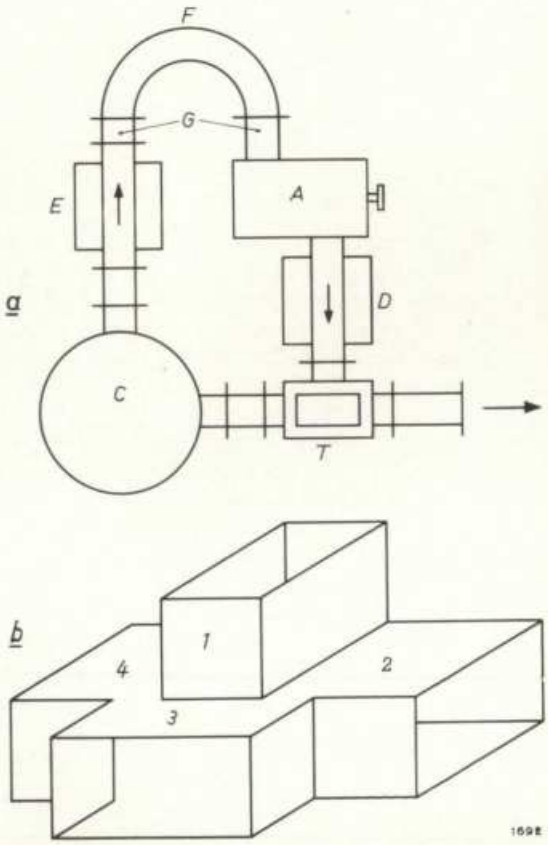
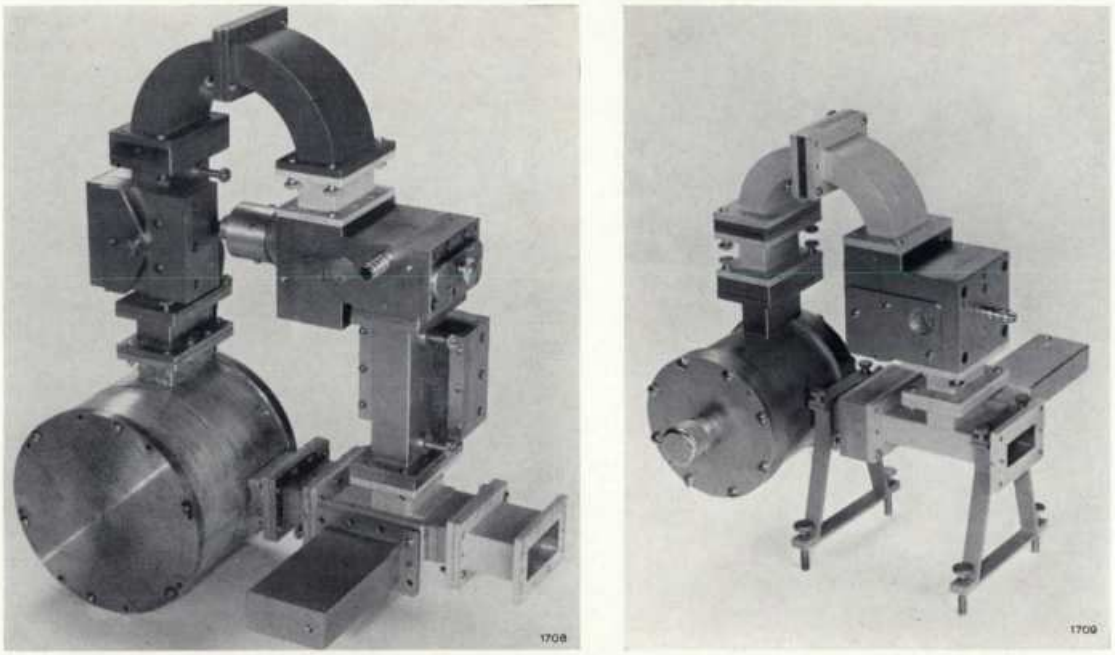


Fig. 8. *a*) Schema van een oscillator voor 4000 MHz met een EC 157. *A* versterker. *C* cilindrische trilholte van Invar, gevuld met droge lucht. *T* magisch T-stuk (zie *b*) als uitkoppelelement. *D*, *E* richtingsisolatoren. De faze van het via de boog *F* naar *A* terugkerende signaal wordt ingesteld met behulp van afstandsstukken *G*.
b) Magisch T-stuk (Engels: hybrid junction; magic tee). De takken *1* en *3* staan met de lange zijden van de doorsneden loodrecht op elkaar. Een magisch T-stuk heeft de eigenschap dat een elektromagnetische golf die men een der vier takken *1*, *2*, *3* of *4* instuurt, zich slechts over *twee* der drie andere takken verdeelt: passages *1-3*, *3-1*, *2-4* en *4-2* zijn nl. niet mogelijk. De vermogens der beide deelgolven zijn gelijk. Zie b.v. G. C. Southworth, Principles and applications of waveguide transmission, Van Nostrand, New York 1950, blz. 339-340.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



a *b*

Fig. 9. *a*) Oscillator voor 4000 MHz met een EC 157, volgens het schema van fig. 8*a*. *b*) Soortgelijke oscillator als die van fig. 9*a*, doch voor 6000 MHz, met de triode voor 5 cm, 1 W. De oscillatoren *a* en *b* zijn op dezelfde schaal afgebeeld.

steld op ca. 130 MHz. De anodespanning bedraagt 200 V, de anodestroom 60 mA. Nadat de volledige oscillatorschakeling is samengesteld, neemt men de gebogen golfpijp *F* (fig. 8*a*) weg en voert men aan de ingang van de versterker een signaal van de gewenste frequentie toe. Op de isolator *E* wordt een detector geplaatst, en men stemt nu versterker en trilholte precies af. Ten slotte brengt men de boog *F* weer op zijn plaats, waarbij men de faze van het terugkerende signaal regelt, door variëren van de lengte van het circuit met behulp van afstandsstukken *G*, tot het uitgangsvermogen maximaal is. Zo nodig kan de frequentie nog worden bijgeregeld door middel van een afstemschroefje in de trilholte.

De stabiliteit van de frequentie bij verandering van de verschillende parameters is gemeten met een zwevingsmethode. Enkele resultaten bij 4000 MHz zijn vermeld in *tabel II*. Van de stromen en spanningen blijkt de gloeispanning het nauwst te luisteren; de invloed van de anodespanning is zeer gering. Bij vervanging van de buis bleek, nadat alleen de anode was bijgestemd op maximaal uitgangsvermogen, de frequentie slechts 10 kHz af te wijken van de oorspronkelijke.

Tabel II. Stabiliteit bij 4000 MHz van de in fig. 9*a* afgebeelde oscillator.

Variërende parameter	Variatie van de frequentie bij toenemende parameter	
	absoluut	relatief
Temperatuur (25-65 °C)	+1,4 kHz/°C	$+0{,}35\times10^{-6}$ per °C
Gloeispanning	ca. −0,06 kHz/mV	ca. -1×10^{-6} per %
Anodespanning	+0,05 kHz/V	$+0{,}025\times10^{-6}$ per %
Anodestroom	+1 kHz/mA	$+0{,}15\times10^{-6}$ per %

Fig. 9*b* toont een soortgelijke oscillator voor de frequentieband rond 6000 MHz, uitgerust met de triode voor 5 cm, 1 W. Daar deze buis aanzienlijk minder terugwerking vertoont dan de EC 157, zijn richtingsisolatoren hier overbodig.

Niet alleen beneden en bij de ontwerpfrequentie, maar ook ver daarboven kan een triode nog met succes worden toegepast als oscillator. Tot de ontwerpfrequentie zal men de $\frac{1}{4}\lambda$-trillingswijze van de anodetrilholte gebruiken; bij veel hogere frequenties is dit niet meer mogelijk, doordat de trilholte daarvoor kleiner zou moeten zijn dan met de buisafmetingen te combineren is. Toch kan men de buis bij deze hoge frequenties afstemmen, nl. door de kortsluitwand van de trilholte een halve golflengte naar buiten te verplaatsen en dus de $\frac{3}{4}\lambda$-trillingswijze te gebruiken. *Fig. 10* toont een experimentele oscillator met een EC 157, waarmee het, uitgaande van dit principe, gelukt is frequenties tot ca. 8000 MHz op te wekken.

Menging

Als we aan de ingangsgolfpijp van een EC-157-versterker het hoogfrequente signaal van een lokale oscillator (LO-signaal) toevoeren en aan de katode een middenfrequent signaal, ontstaan aan de anode

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

o.a. som- en verschilfrequenties. Stemmen we de anodekring af op één hiervan, b.v. de somfrequentie, dan hebben we een mengtrap verkregen. Een dergelijke mengtrap wordt in de door Philips vervaardigde straalzenderapparatuur gebruikt om het signaal van de middenfrequentie (70 MHz) naar een van de hoogfrequentiebanden bij 4000 MHz te brengen. De gebruikte schakeling is die van *fig. 11*[15]); de gegevens zijn in het onderschrift vermeld. De anodekring wordt gevolgd door een driedelig filter, dat het LO-signaal en de ongewenste zijband (verschilfrequentie) onderdrukt.

De anodestroom van de EC 157 is vrij klein, nl. 25 mA, bij welke waarde een aanzienlijke AM-PM-conversie optreedt. Deze wordt echter vrijwel geheel gecompenseerd door de AM-PM-conversie

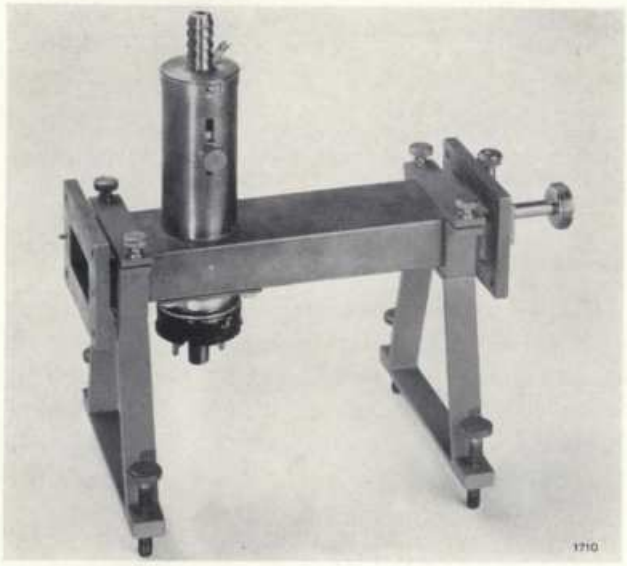


Fig. 10. Experimentele oscillator met een EC 157, waarmee frequenties tot ca. 8000 MHz zijn bereikt door de $\frac{3}{4}\lambda$-trillingswijze van de anodetrilholte te gebruiken.

van de sturende buis. Doordat AM-PM-conversie voornamelijk een gevolg is van het variëren van de ingangscapaciteit met de grootte van het stuursignaal, zal nl. het teken van de AM-PM-conversie bij een schakeling met geaard rooster tegengesteld zijn aan dat bij een schakeling met geaarde katode. Doordat de stuurbuis een positieve AM-PM-conversie heeft en de triode een negatieve, beide van ca. 2°/dB, kunnen we nu door geschikte dimensionering van de schakeling een mengtrap maken die aanzienlijke signalen kan verwerken en die toch vrijwel geen AM-PM-conversie bezit (<0,2°/dB).

Van de triode als mengbuis maakt men ook gebruik om in een rechtuit-relaispost van een straalzenderverbinding het signaal de eerder genoemde frequentieverschuiving van 213 MHz te geven

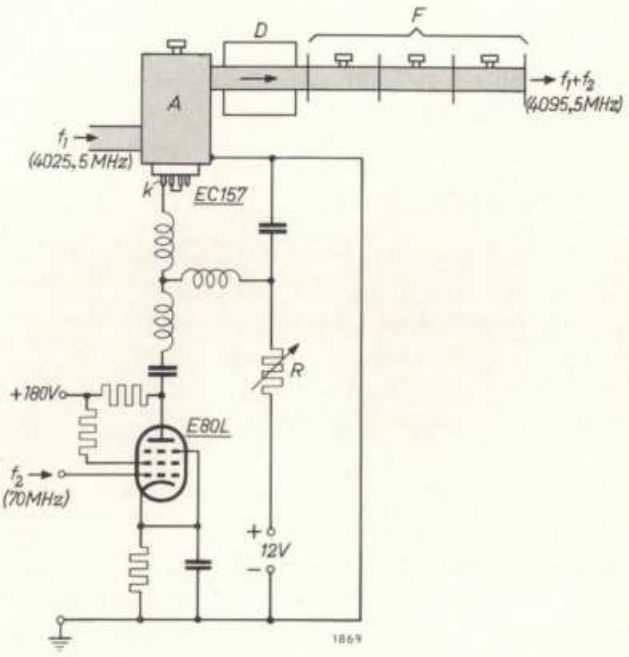


Fig. 11. Schakeling [15]) voor een EC 157 bij gebruik als mengbuis om de modulatie van een middenfrequent signaal (f_2) over te brengen naar een hoogfrequent signaal (f_1). *A* versterker. *D* richtingsisolator. *F* driedelig filter. *k* katodeaansluiting van de EC 157.

Conversieversterking	3 dB
Bandbreedte op 0,1 dB beneden de top	25 MHz
Ingangsvermogen van de EC 157	200 mW
M.f. spanning op het rooster van de E 80 L (eff.)	0,35 V
AM-PM-conversie	<0,2 °/dB
Anodespanning van de EC 157	180 V
Anodestroom van de EC 157 (instelbaar met *R*)	25 mA.

(zie fig. 4). Het hoogfrequente signaal wordt toegevoerd aan de ingang van een EC-157-versterker, een voldoende sterk LO-signaal van de gewenste verschuivingsfrequentie wordt toegevoerd aan de katode (*fig. 12*). Het hoogfrequente signaal wordt

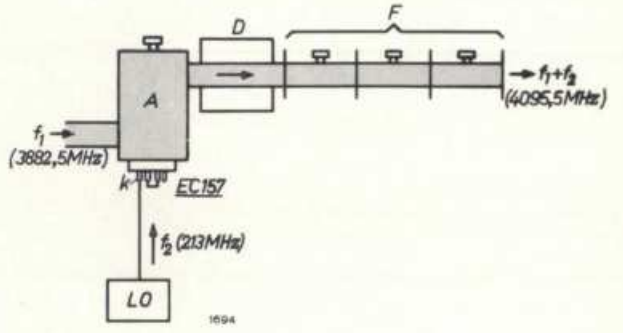


Fig. 12. Schakeling voor een EC 157 bij gebruik als mengbuis ter verkrijging van een frequentieverschuiving van het hoogfrequente signaal in de rechtuit-relaispost van fig. 3. *LO* lokale oscillator. Overige letters als in fig. 11.

Conversieversterking	1 dB
Bandbreedte op 0,1 dB beneden de top	50 MHz
LO-vermogen	500 mW
Anodespanning van de EC 157	180 V
Anodestroom van de EC 157	20 mA.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dan in het ritme van de verschuivingsfrequentie in amplitude gemoduleerd en er ontstaan weer twee zijbanden, waarvan men de gewenste met behulp van filters kan selecteren.

Amplitudebegrenzing

Als een kortegolftriode op een kleine anodestroom wordt ingesteld, treedt bij steeds groter wordend ingangsvermogen spoedig de toestand in waarbij het uitgangsvermogen niet meer toeneemt. We mogen dus verwachten dat de buis in dit verzadigingsgebied goed als begrenzer („limiter") zal kunnen werken.

Proberen we dit vermoeden te toetsen door het uitgangsvermogen P_o te meten als functie van het ingangsvermogen P_i, dan vinden we voor een EC 157 de kromme A van *fig. 13*. Deze kromme verloopt bij toenemende P_i niet blijvend vlak, zoals we voor een begrenzer zouden wensen, maar vertoont bij een wat groter stuursignaal een zeer diep dal. Hier speelt de passieve inwendige koppeling tussen katode- en anodekring ons parten [16]). Wat is namelijk het geval? Het uitgangsvermogen is te splitsen in twee delen. Het ene deel is afkomstig van de versterkende werking van de buis. Dit deel (dat bij klein stuursignaal overheerst) nadert bij toenemend stuursignaal tot een constante waarde. Het andere deel komt op rekening van de passieve inwendige koppeling en heeft geen verzadiging, doch blijft lineair met het ingangsvermogen toenemen. Er zal dus een punt komen waarop deze twee delen gelijk zijn geworden, en dan hangt het nog slechts van de onderlinge faze af, wat er zal gebeuren. Blijkbaar zijn de twee delen in ons geval nagenoeg van tegengestelde faze, zodat ze elkaar bijna geheel uitdoven.

Om dit ongewenste effect op te heffen, hebben we getracht tussen anode- en katodetrilholte een zodanige extra-koppeling te introduceren dat de passieve inwendige koppeling juist wordt opgeheven (inwendig neutrodyniseren). Dit is gedaan, zoals *fig. 14* laat zien, met behulp van een dubbel koppellusje L van geschikte afmetingen door de scheidingswand tussen de beide trilholtes. Het is gelukt om een versterker op deze wijze volledig te neutrodyniseren. Het resultaat is kromme C van fig. 13. We zien dat ten gevolge van het neutrodyniseren tevens de versterking voor kleine P_i is gedaald. Het zal duidelijk zijn dat bij gedeeltelijk neutrodyniseren het dal slechts naar hogere P_i verschuift. We krijgen dan kromme B.

Voor gebruik als begrenzer ligt de optimale kromme tussen B en C in. Een nadeel is dat het vlakke gebied bij sterker neutrodyniseren eveneens bij hogere P_i komt te liggen. In dat gebied is de buis dan echter goed als begrenzer te gebruiken. Het uitgangsvermogen kan binnen 0,4 dB constant blijven bij een variatie van het ingangsvermogen van 10 dB [17]).

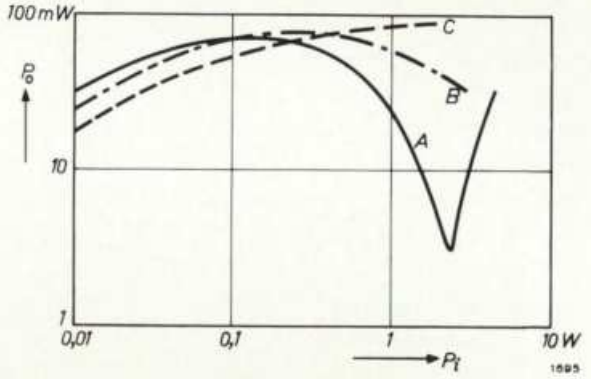


Fig. 13. De EC 157 als begrenzer: het uitgangsvermogen P_o als functie van het ingangsvermogen P_i. Anodespanning 200 V, anodestroom 10 mA. Kromme A: versterker niet geneutrodyniseerd, kromme B: gedeeltelijk, en kromme C: geheel geneutrodyniseerd.

Amplitudemodulatie

Ook bij telecommunicatie op centimetergolven, waar amplitudemodulatie niet gebruikelijk is, kan het in bepaalde schakelingen nodig zijn een signaal in amplitude te moduleren, b.v. in de schakeling die in het volgende hoofdstuk zal worden beschreven. Bij meetopstellingen in het laboratorium is

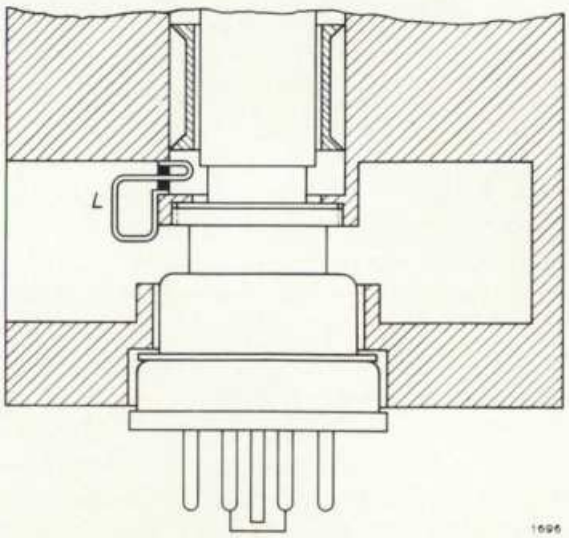


Fig. 14. Neutrodynisering van een EC-157-versterker door middel van een dubbel koppellusje L door de scheidingswand tussen anode- en katodetrilholte.

[16]) G. Diemer, Passive feedback admittance of disc-seal triodes, Philips Res. Repts. **5**, 423-434, 1950. Zie ook het onder [1]) aangehaalde artikel, blz. 327-328, en [2]), blz. 158-159.

[17]) De AM-PM-conversie van deze en soortgelijke begrenzers is nog niet onderzocht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

een amplitudemodulator eveneens vaak onontbeerlijk. De werking van de in een vorig hoofdstuk besproken mengbuis is eigenlijk dezelfde als de onderhavige, maar we zullen het begrip „modulatie", in overeenstemming met het spraakgebruik, beperken tot die gevallen waar het modulerende signaal een audio- of videosignaal is.

Om zo weinig mogelijk vervorming in de modulatie te krijgen, blijkt men verschillende schakelingen te moeten toepassen, afhankelijk van de sterkte van het hoogfrequente signaal op de buis. Voor zwakke signalen is het voldoende een spanningsbron met een kleine inwendige weerstand in serie met de katodeweerstand te schakelen, zoals in *fig. 15* is weergegeven. Zolang het stuursignaal niet te sterk wordt gemaakt, kan men deze spanningsmodulatie goed toepassen tot ca. 80% modulatiediepte.

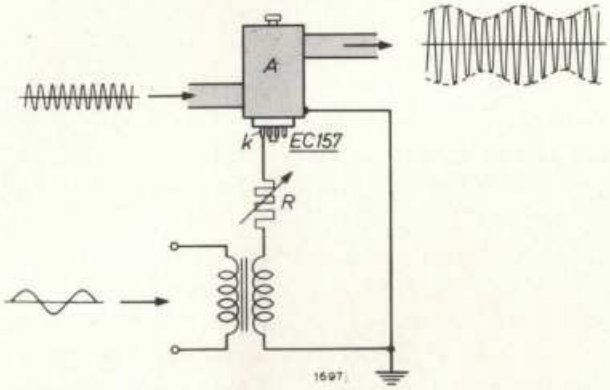


Fig. 15. Amplitudemodulator met een EC 157 voor modulatie van zwakke signalen. *A* versterker. *k* katodeaansluiting. $V_a = 200$ V, $I_a = 20$ mA (regelbaar door middel van *R*).

Als het echter gaat om een buis die dicht bij het verzadigingsvermogen is ingesteld, blijkt stroommodulatie de beste resultaten te geven. Hierbij wordt een stroombron met een hoge inwendige weerstand in serie met de katodeweerstand geschakeld. In de praktijk kiest men de schakeling van *fig. 16*. De modulerende spanning wordt aangelegd tussen rooster en katode van een eindpentode EL 86 die in serie met de versterkbuis is geschakeld. Met deze schakeling kan men een vrijwel uitgestuurde EC 157 tot ca. 90% moduleren.

In beide gevallen is niet de variatie van de uitgangsspanning, maar de variatie van het uitgangsvermogen evenredig met de modulerende spanning. De detector zal dus een kwadratische karakteristiek moeten hebben.

Frequentiemodulatie

In frequentie gemoduleerde centimetergolven zijn moeilijk te verkrijgen met behulp van slechts één, als oscillator geschakelde, kortegolftriode. De oscil-

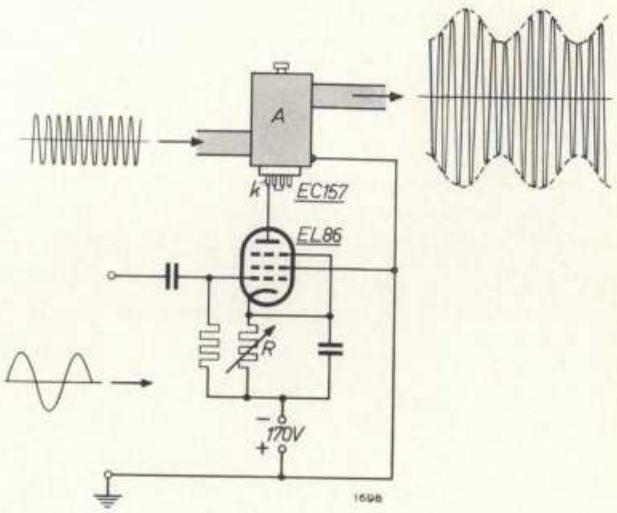


Fig. 16. Amplitudemodulator met een EC 157 voor modulatie van sterke signalen. Letters als in fig. 15. $V_a = 200$ V, $I_a = 60$ mA.

latiefrequentie wordt dan vrijwel geheel bepaald door de afgestemde kringen, en al kan men door variatie van anodespanning en -stroom de frequentie in zekere mate variëren, toch is de schakeling niet aantrekkelijk voor frequentiemodulatie wegens de kleine frequentiezwaai en wegens de grote amplitudemodulatie die ermee gepaard gaat.

Anders wordt het echter als men gebruik maakt van twee buizen in een speciale schakeling, waarvan *fig. 17* de grondgedachte schematisch weergeeft. De EC-157-versterkers *A* en *B* zijn onderling ver-

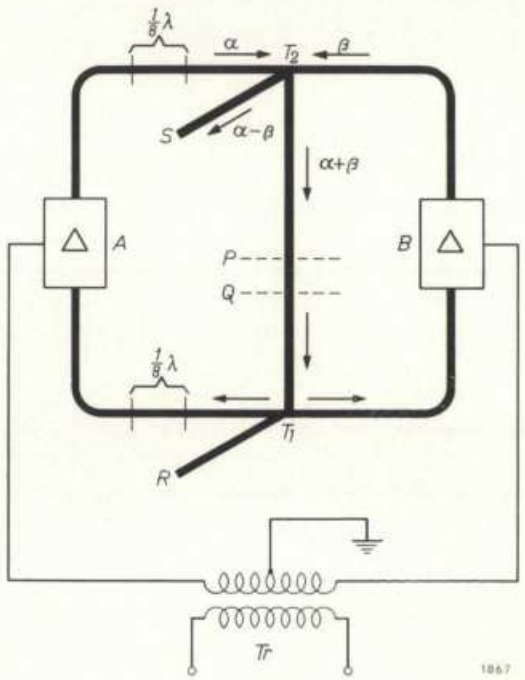


Fig. 17. Principeschema van een frequentiemodulator met twee buizen EC 157. De dikke lijnen stellen golfpijpen voor. *A*, *B* versterkers. T_1, T_2 magische T-stukken. De tak *R* wordt reflectievrij afgesloten, de tak *S* fungeert als uitgang. *Tr* balanstransformator.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

bonden door golfpijpen (dik getrokken lijnen in de figuur), en wel via twee magische T-stukken T_1 en T_2. De weg T_1AT_2 is een kwart golflengte langer gemaakt dan de weg T_1BT_2. Voorts zijn T_1 en T_2 onderling rechtstreeks verbonden via PQ.

Om de werking van de schakeling te begrijpen, denken we ons de verbinding tussen T_1 en T_2 bij P en Q even onderbroken. Een elektromagnetische golf die we ons van Q af aan T_1 toegevoerd denken, verdeelt zich in T_1 in twee golven van onderling gelijk vermogen en gelijke faze, nl. een naar links en een naar rechts. Deze beide golven worden in de onderling gelijke versterkers A en B evenveel versterkt en arriveren dus in T_2 met onderling gelijke amplitudes en, ten gevolge van de extra-weglengte van een kwart golflengte in de weg via A, met een onderling fazeverschil van 90°. Ze kunnen dus worden voorgesteld door de complexe grootheden a resp. β in *fig. 18*. In T_2 combineren de golven

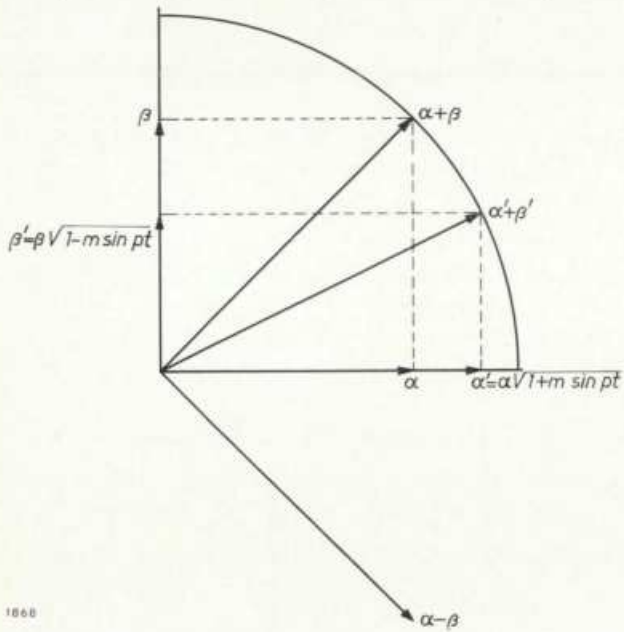


Fig. 18. Vectordiagram ter toelichting van het optreden van fazemodulatie als de versterkers A en B van fig. 17 in tegengestelde faze in amplitude gemoduleerd worden.

a en β zich zodanig dat er naar beneden (P) een golf $a+\beta$ gaat, en naar voren (S) een golf $a-\beta$.

De golven a en β worden nu in de versterkers A en B, behalve versterkt, ook in amplitude gemoduleerd en wel in tegengestelde faze, wat in fig. 17 schematisch is aangeduid met de getekende balanstransformator Tr. Deze amplitudemodulatie kan in de praktijk geschieden volgens een der in het vorige hoofdstuk beschreven methodes, waarbij de momentele uitgangsvermogens van de versterkers zich verhouden als $(1+m\ \sin\ pt):(1-m\ \sin\ pt)$, indien m de modulatiediepte is en p de hoekfrequentie van het modulerende signaal. De in T_2 arriverende golven worden dus voorgesteld door $a'=a\sqrt{1+m\ \sin\ pt}$ en $\beta'=\beta\sqrt{1-m\ \sin\ pt}$, en de uitgangsgolven van T_2 door $a'+\beta'$ en $a'-\beta'$.

Van deze beide uitgangsgolven zijn de modulussen, zoals uit het bovenstaande volgt, onderling gelijk en constant; de argumenten echter zullen met de tijd variëren. De uitgangsgolven van T_2 zijn dus niet in amplitude, doch slechts in faze gemoduleerd: de beeldpunten van $a'+\beta'$ en $a'-\beta'$ schommelen, gedurende een modulatieperiode van de versterkers, in fig. 18 langs bogen van een zelfde cirkel.

Verbinden we nu P weer met Q, dan zal de schakeling gaan oscilleren, en wel op een zodanige frequentie dat de totale fazedraaiing bij één rondgang juist een geheel aantal malen 2π is. Doordat de modulerende spanning de „fazelengte" van de kring doet variëren, zal de frequentie zich op elk moment zo instellen dat aan de zojuist genoemde fazevoorwaarde voldaan is. Hiermee hebben we een oscillator voor frequentiemodulatie verkregen. De tak S van T_2 fungeert daarbij als uitgang, de tak R van T_1 wordt reflectievrij afgesloten.

Om een grote frequentiezwaai te krijgen, moeten we zorgen dat de geïntroduceerde fazevariatie een zo groot mogelijk deel uitmaakt van de totale fazedraaiing bij één rondgang. Dit komt neer op het zo kort mogelijk houden van de gehele terugkoppelweg. Een compacte constructie van het geheel is verkregen door de twee magische T-stukken en hun verbinding PQ te comprimeren in één blok (*fig. 19*). De twee versterkers zijn normale versterkerblokken, met dien verstande dat de gehele bovenhelft 180°

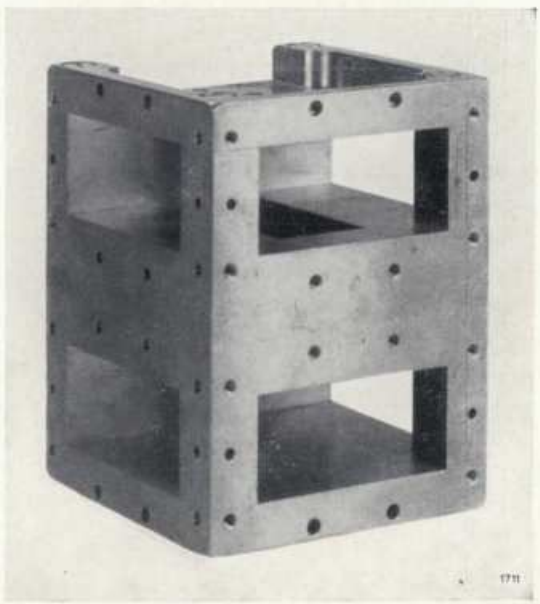


Fig. 19. De magische T-stukken T_1 en T_2 van fig. 17 en hun verbinding verenigd in één blok, ten einde een compacte constructie van de frequentiemodulator mogelijk te maken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

om de as is gedraaid, zodat in- en uitgang aan dezelfde kant zijn komen te liggen. De versterkers worden links en rechts aan het blok van fig. 19 bevestigd (zie *fig. 20*), waarbij het weglengteverschil wordt verwezenlijkt door middel van afstandsstukken. De opening beneden-voor van het middenblok (*R* in fig. 17) wordt reflectievrij afgesloten, de opening boven-voor (*S* in fig. 17) is de uitgang van de modulator.

Een zo kort mogelijke terugkoppelweg is mede verkregen door aan de anodekant van de versterkers geen richtingsisolatoren aan te brengen. Hierdoor is het nodig de versterkerblokken te neutrodyniseren, hetgeen geschiedt volgens de boven beschreven methode (fig. 14).

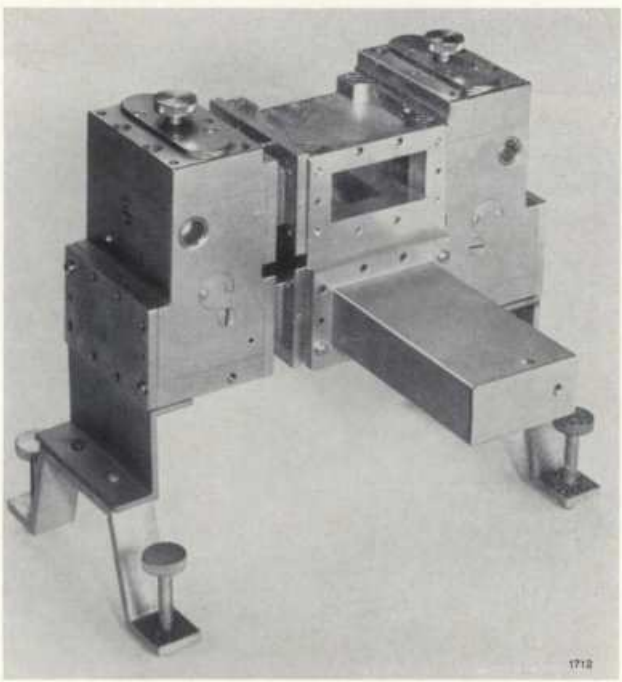


Fig. 20. Complete frequentiemodulator volgens het schema van fig. 17, met gebruikmaking van het blok van fig. 19. De terugkoppelwegen van de twee triodes zijn ongelijk van lengte en voor een deel gemeenschappelijk. Als de golven in de triodes in tegengestelde faze in amplitude worden gemoduleerd, is het uitgangssignaal in frequentie gemoduleerd.

Dank zij de bijzondere schakeling is het uitgangsvermogen van de frequentiemodulator vrij groot. Zoals hierboven reeds werd opgemerkt, zijn de modulussen van de uitgangsgolven van T_2 gelijk, zodat in T_2 de som van de uitgangsvermogens van de versterkers in twee gelijke delen wordt gesplitst. Hiervan wordt het ene deel in T_1 eveneens in twee gelijke delen gesplitst, het andere is direct beschikbaar als uitgangsvermogen. We mogen dus een uitgangsvermogen verwachten, gelijk aan dat van één enkele buis met een zo groot stuursignaal dat de versterking nog 3 dB bedraagt. Hoe groot het werkelijke vermogen zal zijn, hangt van de instelling af. De bovenstaande redenering is nl. opgezet voor een fazeverschil tussen α en β van 90°. Het zal duidelijk zijn dat we door deze hoek te variëren, het uitgangsvermogen tegen de frequentiezwaai kunnen uitspelen. Immers, vergroting van de hoek geeft volgens het bovenstaande direct vergroting van de zwaai, maar uit fig. 18 zien we dat $\alpha + \beta$ dan kleiner wordt, d.w.z. er wordt minder vermogen teruggekoppeld, zodat de buizen zich op een lager niveau zullen instellen. Omgekeerd geeft een kleinere hoek een kleinere zwaai, maar $\alpha + \beta$ wordt dan groter, er wordt meer vermogen teruggekoppeld en de versterkers gaan sterker oscilleren.

We kunnen dit uitspelen nog wat effectiever doen door ook de anodebandbreedte van de versterkers te veranderen, al naar gelang we een grote zwaai of een groot uitgangsvermogen willen hebben. *Tabel III* geeft enige meetresultaten van twee instellingen die elk wel ongeveer een uiterste vertegenwoordigen.

Tabel III. Eigenschappen van de frequentiemodulator van fig. 20, uitgerust met twee buizen EC 157, in twee verschillende instellingen.

	Instelling voor grote frequentiezwaai	Instelling voor groot uitgangsvermogen
Anodespanning	200 V	200 V
Anodestroom	60 mA	60 mA
Anodebandbreedte	150 MHz	60 MHz
Centrale frequentie	4000 MHz	4000 MHz
Maximale frequentiezwaai	60 MHz	15 MHz
Lineaire frequentiezwaai	20 MHz	5 MHz
Uitgangsvermogen	0,6 W	3,6 W

Detectie van sterke signalen

Bij millimeterradar, waar men met zeer korte impulsduur werkt (ca. 5 nanoseconden), heeft men in de middenfrequentie- en videoversterkers van het ontvanggedeelte een zeer grote bandbreedte nodig (ca. 200 MHz) [18]). Deze grote bandbreedte is met conventionele buizen niet of zeer moeilijk te verwezenlijken. Voor de middenfrequentieversterker heeft men deze moeilijkheid opgelost door gebruik te maken van een lopendegolfbuis, werkend op een frequentie van 4000 MHz. Een normale kristaldetector, hierachter geplaatst, kan echter lang niet het maximale uitgangsvermogen van de lopendegolfbuis verwerken zonder overbelast te raken.

[18]) Zie R. J. Heijboer, Millimeterradar, Ingenieur **71**, E.41-E.48, 1959 (no. 14).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

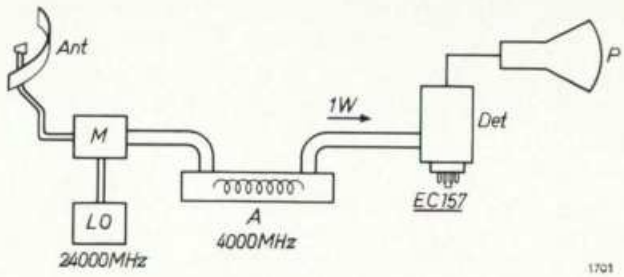


Fig. 21. Toepassing van de EC 157 als anodedetector voor sterke signalen bij millimeterradar. De middenfrequentieversterker *A* is een lopendegolfbuis, die een signaal van ca. 1 W op 4000 MHz levert aan de triodedetector *Det*. Het uitgangssignaal hiervan is voldoende om de weergeefbuis *P* bij de vereiste grote bandbreedte rechtstreeks — dus zonder videoversterking — te besturen. *Ant* antenne. *M* mengtrap. *LO* lokale oscillator (24 000 MHz).

Achter deze detector is dus nog een aanzienlijke videoversterking noodzakelijk om de weergeefbuis te besturen.

Deze videoversterking, die voor een zo grote bandbreedte zeer moeilijk te realiseren is, wordt geheel en al overbodig als men voor de detectie gebruik maakt van een triode EC 157, geschakeld als anodedetector. De lopendegolfbuisversterker kan het middenfrequente signaal dan tot ca. 1 W opvoeren, en de hiermee bestuurde triodedetector levert over de gehele vereiste bandbreedte videospanningen van ca. 10 V, zodat hij rechtstreeks de weergeefbuis kan besturen. Deze opstelling is schematisch weergegeven in *fig. 21*.

Men kan voor een dergelijke detector een gewoon versterkerblok gebruiken als men hiervan het bovendeksel verwijdert en, ten einde de parasitaire capaciteiten tot een minimum te reduceren, ook de binnengeleider en de zuiger wegneemt. De gebruikte schakeling is geschetst in *fig. 22*. De buis wordt ingesteld door middel van een vaste positieve voorspanning van 7 V op de katode, wat ongeveer overeenkomt met het afknijppunt van de buis. *Fig. 23* geeft de videospanning aan de anode als functie van het middenfrequentievermogen aan de ingang.

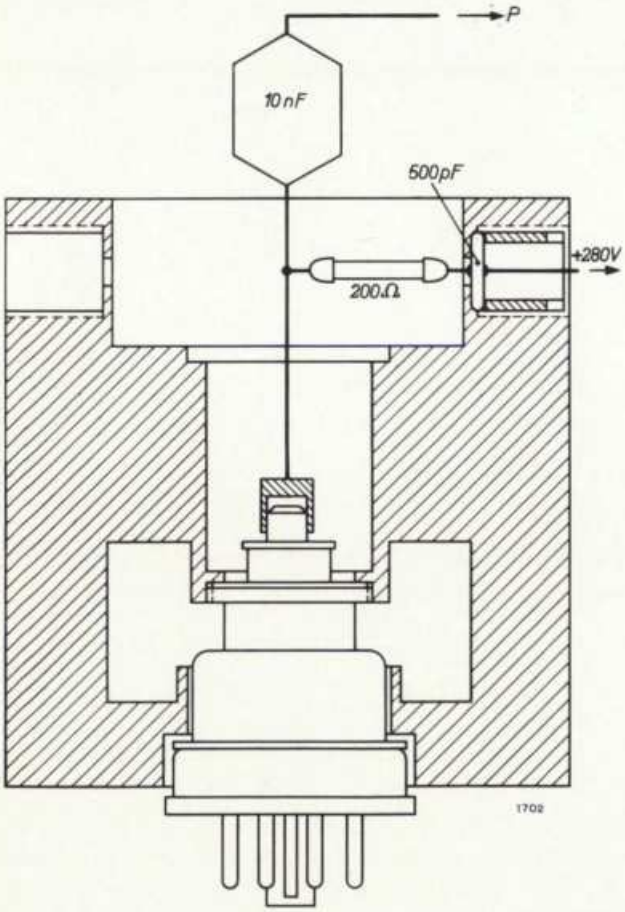


Fig. 22. Schakeling van de EC 157 als anodedetector op 4000 MHz in een iets gewijzigd versterkerblok. De buis wordt ingesteld vlak bij het afknijppunt door middel van een vaste positieve voorspanning van 7 V op de katode. Bij *P* wordt de weergeefbuis (zie fig. 21) aangesloten.

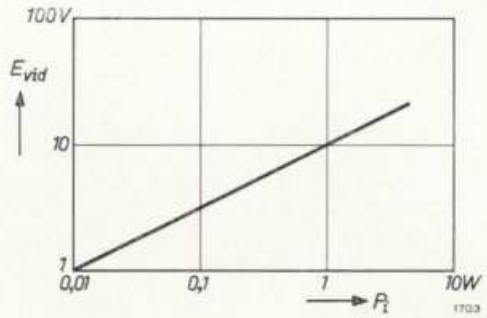


Fig. 23. Detectiekarakteristiek van de EC 157 als anodedetector in de schakeling van fig. 21: de videospanning E_{vid} aan de anode als functie van het middenfrequentievermogen P_i aan de ingang.

Samenvatting. Schijftriodes voor centimetergolven zijn o.a. door hun eenvoud, gunstige fazekarakteristieken en groot produkt van versterking en bandbreedte geschikt en aantrekkelijk voor een groot aantal functies, b.v. in straalzenderverbindingen. Van de bij Philips ontwikkelde centimetergolftriodes wordt in dit artikel een overzichtstabel gegeven, waarna worden besproken de toepassingen voor versterking, frequentievermenigvuldiging, lokale oscillators van zeer stabiele frequentie (4000 en 6000 MHz), menging, amplitudebegrenzing, amplitudemodulatie, frequentiemodulatie, en detectie van sterke signalen bij millimeterradar.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLIKATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publikaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven, op aanvraag overdrukken.

R 370: W. L. Wanmaker, M. L. Verheijke en W. Parchen: Influence of the "dope" on the reduction rate of tungsten trioxide by hydrogen (Philips Res. Repts. **14**, 201-206, 1959, no. 3).

Wolfraam wordt op industriële schaal bereid door het oxyde (meestal het trioxyde) te reduceren met waterstof. Het oxyde wordt daartoe in een schuitje door een horizontaal opgestelde buisoven gevoerd terwijl door deze oven waterstof stroomt. Dit artikel handelt over onderzoekingen naar de invloed op de reductiesnelheid van achtereenvolgens: de dikte van de oxydelaag in het schuitje, en de aanwezigheid van waterdamp in de gebruikte waterstof en van bepaalde stoffen als kaliumsilicaat en $K_4SiW_{12}O_{40}$ in het oxyde. De laatstgenoemde twee stoffen blijken de reductie te versnellen mits de laag wolfraamoxyde voldoende dik is. Waterdamp vertraagt de reductie, maar dit effect is minder sterk indien het oxyde kaliumsilicaat of $K_4SiW_{12}O_{40}$ bevat.

R 371: H. U. Harten: Influence of the ambient atmosphere on the surface recombination of silicon (Philips Res. Repts. **14**, 207-210, 1959, no. 3).

Metingen van de oppervlakfotospanning van silicium hebben aangetoond dat bij silicium, net als bij germanium, de oppervlakpotentiaal binnen wijde grenzen kan worden gevarieerd door chemische oppervlakbehandelingen, en, binnen nauwere grenzen, door veranderingen in de omgevingsatmosfeer. Uit gelijktijdige metingen van de oppervlakrecombinatie is gebleken dat deze in hoofdzaak via recombinatiecentra geschiedt (mechanisme van Hall, Shockley en Read).

R 372: M. Avinor: Edge photoconductivity of cadmium sulphide (Philips Res. Repts. **14**, 211-214, 1959, no. 3).

Het fotogeleidingsvermogen van CdS-monokristallen vertoont een scherp maximum bij 515 nm, dat karakteristiek is voor deze stof. Er blijkt bij 500 nm een tweede scherp maximum op te treden indien zilver als activatorelement wordt gebruikt en de concentratie hiervan de concentratie der coactivators overtreft. Bovendien constateert men het optreden van superlinearíteit (intensiteit van de fluorescentiestraling neemt sterker dan evenredig toe met de intensiteit der excitatiestraling). Op grond van deze feiten toont de auteur aan dat de piek bij 515 nm niet kan worden toegeschreven aan overgangen tussen valentieband en geleidingsband.

R 373: N. Spielberg: Intensities of radiation from X-ray tubes and the excitation of fluorescence X-rays (Philips Res. Repts. **14**, 215-236, 1959, no. 3).

In de laatste jaren is voor de identificatie van chemische elementen de zg. spectrochemische analyse met röntgenstralen ontwikkeld (zie b.v. Philips techn. T. **17**, 361-380, 1955). Onderzocht is welke eisen men aan de exciterende röntgenstralen moet stellen in verband met de samenstelling van het te onderzoeken monster. Voor de identificatie van monsters die slechts één element bevatten en voor de detectie van de hoofdbestanddelen van monsters die uit verscheidene elementen bestaan, blijkt de conversiefactor (het aantal geëmitteerde fotonen per exciterend foton) slechts langzaam te variëren als functie van de golflengte der exciterende straling, mits deze golflengte niet te ver afligt van de absorptiekanten der desbetreffende elementen. De details van het excitatiespectrum zijn dan van ondergeschikt belang. Gaat het daarentegen om elementen die slechts in geringe concentratie in het monster aanwezig zijn, en/of liggen de golflengten van de excitatiestraling ver af van de absorptiekant, dan is de conversiefactor evenredig met de derde macht van de golflengte der exciterende straling.

Uit deze overwegingen wordt afgeleid dat voor de detectie van elementen lichter dan zwavel het gebruik van de L-straling van een Mo- of Ag-anode in de röntgenbuis zeer gunstig is. Experimenten bevestigden zekere aspecten der gegeven theorie. Verdere experimenten, voornamelijk met zachte röntgenstralen, zijn echter noodzakelijk.

R 374: J. Hornstra en P. Penning: Birefringence due to residual stress in silicon (Philips Res. Repts. **14**, 237-249, 1959, no. 3).

Als grote siliciumkristallen snel worden afgekoeld (afgeschrikt) ondergaan zij een plastische deformatie. Dit blijkt uit de hierbij optredende toeneming van het aantal dislocaties, bepaald door telling van etsputten. Deze deformatie is nader onderzocht door de spanningen in het materiaal te bestuderen door middel van dubbele breking van infrarode straling. Het onderzoek geschiedde aan dunne plakjes, gezaagd uit de afgeschrikte kristallen. Voor het verschil in de spanningstoestanden van deze plakjes en het onbeschadigde kristal werd een correctie aangebracht. De trekspanningen werden gemeten door ze met uitwendige druk te compenseren. Daar ook het fazeverschil tussen gewone en buitengewone straal werd gemeten, kon de spannings-optische constante worden bepaald. De auteurs vonden een iets kleinere waarde dan Giardini. De experimenten doen sterk vermoeden dat de thermische spanningen grotendeels worden opgeheven door plastische vervorming, indien de temperatuur van welke wordt afgeschrikt hoger is dan 1300 °C. Ook in staven die bij 750 °C onder invloed van een constant buigend moment waren gebogen, bleken restspanningen op te treden. Uit het spanningspatroon in de ontlaste toestand kon de spanningsverdeling bij het einde van de buigproef worden berekend. Daar ook de deformatiesnelheid $\dot{\varepsilon}$ voor hetzelfde tijdstip bekend was als functie van de plaats, kon het verband tussen $\dot{\varepsilon}$ en de spanning σ worden vastgesteld. In enkele gevallen werd het door Van Bueren theoretisch afgeleide verband $\dot{\varepsilon} \sim \sinh(\sigma/\sigma_0)$ gevonden, maar meestal traden complicaties op door een begin van versteviging.

R 375: N. C. de Troye: Classification and minimization of switching functions (Philips Res. Repts. **14**, 250-292, 1959, no. 3).

Vervolg van **R 369**. Dit gedeelte bevat de uitvoerige tabellen waarin de auteur de resultaten van zijn onderzoek heeft vastgelegd.

R 376: K. Jost: Impedance transformations through lossless two-ports represented by fractional linear transformations of the unit circle (Philips Res. Repts. **14**, 301-326, 1959, no. 4).

Iedere verliesvrije vierpool kan worden opgevat als een transformator die de uitgangsimpedantie omzet in de ingangsimpedantie. Met iedere verliesvrije vierpool komt overeen een bepaalde transformatie in zichzelf (automorfisme) van een eenheidscirkel in het complexe vlak. Een dergelijke transformatie kan steeds worden opgevat als het resultaat van drie opeenvolgende elementaire transformaties: een draaiing om het middelpunt, een transformatie alsof de vierpool een ideale transformator was en nog een tweede draaiing om het middelpunt. Toepassingen hiervan, o.a. op de cascadeschakeling van (verliesvrije) vierpolen, worden gegeven.

R 377: M. T. Vlaardingerbroek: Noise in electron beams and in four-terminal networks (Philips Res. Repts. **14**, 327-336, 1959, no. 4).

De auteur toont aan dat men het gunstigste ruisgetal van een elektronenbundelversterker (zoals een klystron of een lopendegolfbuis) dat bereikbaar is door beïnvloeding van de bundel in de driftruimte (ruimte tussen het elektronenkanon en de ruimte waar de interactie met het uitwendige circuit plaatsvindt), kan berekenen op een manier die mathematisch analoog is met de berekening van het gunstigste ruisgetal van een netwerkvierpool dat men bereiken kan door variatie van de inwendige impedantie van de op deze vierpool aangesloten signaalbron. Verder wordt de aandacht gevestigd op de analogie in de mathematische beschrijving van de voortplanting van ruis langs een elektronenbundel en van de transformatie van ruisbronnen over een passieve vierpool.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

R 378: P. Penning: Rate of diffusion-limited annihilation of excess vacancies (Philips Res. Repts. **14**, 337-345, 1959, no. 4).

Berekening van de snelheid waarmee vacatures uit een kristalrooster verdwijnen als hun concentratie groter is dan past bij evenwicht, en berekening van de ruimtelijke verdeling van deze concentratie. Aangenomen is een aanvankelijk homogene verdeling, terwijl de vacatures bewegen door diffusie. Het medium waarin de diffusie plaatsvindt, werd als een continuüm opgevat. Beschouwd zijn drie gevallen: 1) de vacatures worden opgenomen door dislocaties in het inwendige van het monster, 2) de vacatures verdwijnen naar het oppervlak, en 3) beide mechanismen zijn tegelijkertijd werkzaam. In het eerste geval neemt de gemiddelde concentratie exponentieel af; de tijdconstante van dit proces is nagenoeg omgekeerd evenredig met de dislocatiedichtheid. In het tweede geval wijkt de afneming van de concentratie der vacatures in den beginne aanzienlijk af van een exponentiële tijdfunctie. In een staaf met vierkante doorsnede dragen beiden mechanismen ongeveer evenveel bij tot het verdwijnen der vacatures indien er enige tientallen dislocaties door de kleinste doorsnede gaan.

R 379: H. U. Harten: Surface recombination of silicon (Philips Res. Repts. **14**, 346-360, 1959, no. 4).

Onderzoek naar de recombinatie van elektronen en gaten aan het oppervlak van silicium door middel van meting van de fotospanning van een P-N-overgang aangebracht op dunne plaatvormige siliciumkristallen. De methode is elders uitvoerig geanalyseerd; hier wordt het principe toegelicht aan de hand van een gedachte-experiment. Uit de metingen is gebleken dat als het oppervlak behandeld is met een oplossing van kaliumbichromaat in water, de recombinatiesnelheid toe- of afneemt als men resp. vocht of ozon in de omgevingsatmosfeer brengt. Na behandeling van het oppervlak met fluorwaterstof treedt juist het omgekeerde op. P- en N-silicium gedragen zich in dit opzicht eender. Dikwijls vermindert de oppervlakrecombinatie onder bestraling met licht, voornamelijk als de behandeling van het oppervlak gunstig is geweest voor de vorming van een zg. inversielaag (d.i. in een P-gebied een laag waar de elektronenconcentratie groter is dan de gatenconcentratie, en in een N-gebied juist omgekeerd). De verschijnselen konden worden verklaard door aan te nemen dat de oppervlakrecombinatie tot stand komt via recombinatiecentra en derhalve wordt beïnvloed door de positie van het ferminiveau bij het oppervlak, en door bovendien aan te nemen dat de spanning over de P-N-overgang aan het oppervlak invloed heeft. Zie ook **R 371**.

R 380: D. de Nobel: Phase equilibria and semiconducting properties of cadmium telluride (Philips Res. Repts. **14**, 361-399, 1959, no. 4).

In dit proefschrift (Leiden, mei 1958; vervolgd in **R 384**) wordt het verband bestudeerd dat bestaat tussen de elektrische en de optische eigenschappen van monokristallen van cadmiumtelluride en de omstandigheden waaronder deze kristallen gemaakt en nabehandeld zijn. In het eerste hoofdstuk wordt beschreven hoe men het p-T-x-diagram van cadmiumtelluride bepaalt. Verder wordt in dit hoofdstuk beschreven hoe men cadmiumtelluride kan zuiveren door middel van zonesmelten, hoe men aan het materiaal een bepaalde hoeveelheid vreemde atomen homogeen verdeeld kan toevoegen, en hoe men uit dit materiaal monokristallen kan verkrijgen. Het temperen (enige tijd op hoge temperatuur houden) der monokristallen in het temperatuurgebied van 700 tot 1000 °C onder verschillende cadmiumdrukken, gevolgd door afschrikken tot kamertemperatuur, heeft een belangrijk onderdeel van het onderzoek gevormd. Aan de getemperde kristallen werden verschillende elektrische en optische metingen verricht. De thermokracht werd bepaald als functie van het aantal ladingdragers en het halleffect als functie van de cadmiumdruk waaronder de kristallen bij een bepaalde temperatuur getemperd werden. Van verschillende kristallen werd het halleffect gemeten als functie van de temperatuur, welke laatste metingen gecombineerd werden met weerstandsmetingen. Van de optische metingen zijn te noemen: transmissiemetingen bij verschillende temperaturen, fotoluminescentie, fotogeleidingsmetingen en het bepalen van de brekingsindex.

In hoofdstuk 2 wordt getracht een interpretatie te geven van de metingen uit hoofdstuk 1.

In hoofdstuk 3 wordt een theoretische beschouwing gegeven over de evenwichten die, tijdens het temperen op hoge temperatuur onder de dampdruk van één der componenten, de toestand bepalen van zuiver cadmiumtelluride en van cadmiumtelluride waaraan indium (als donor) of goud (als acceptor) is toegevoegd. Kennis van de evenwichtsconstanten maakt het mogelijk de concentratie bij kamertemperatuur van de verschillende centra die in cadmiumtelluride kunnen optreden, te berekenen als functie van de cadmiumdruk waaronder getemperd werd. Voor verschillende modellen van het bandenschema van cadmiumtelluride is het nu mogelijk het aantal ladingdragers bij kamertemperatuur als functie van de cadmiumdruk waaronder getemperd werd, weer te geven in een diagram. Een kwalitatieve vergelijking met de experimentele diagrammen leidde tot een bepaald bandenschema voor cadmiumtelluride. In dit model worden aan de cadmiumvacature twee niveaus tussen de banden toegeschreven; aan interstitieel cadmium, indium en goud elk één niveau.

Een kwantitatieve beschouwing van enkele karakteristieke punten in de theoretische en experimentele diagrammen leidt tot de waarden van enkele evenwichtsconstanten, die langs andere weg niet bepaald kunnen worden (o.a. de frenkelconstante en de reductieconstante, die het evenwicht tussen kristal en damp bepaalt). Het verloop van deze constanten als functie van de temperatuur maakt het mogelijk de energieën te berekenen die nodig zijn om een cadmiumatoom hetzij van een roosterplaats naar een interstiële plaats te brengen, hetzij van een roosterplaats, respectievelijk interstitiële plaats, naar de gasfaze.

Associatie-effecten blijken van grote invloed te zijn tijdens het afschrikken van kristallen tot kamertemperatuur.

Een aanhangsel bevat een kwalitatieve beschouwing over het karakter van de binding in cadmiumtelluride.

A 7: A. Rabenau en P. Eckerlin: $BeSiN_2$, eine neue Verbindung mit Wurtzitstruktur (Naturwiss. **46**, 106-107, 1959, no. 3).

Korte mededeling over de bereiding van een nieuwe verbinding met formule $BeSiN_2$, die in chemisch opzicht met AlN verwant is. De kristallografische gegevens worden vermeld.

A 8: H. G. Grimmeiss en H. Koelmans: Über die Kantenemission und andere Emissionen des GaN (Z. Naturf. **14a**, 264-271, 1959, no. 3).

Onderzoek van de fluorescentie van galliumnitride. Zowel zuiver GaN als GaN dat Zn en Mg als onzuiverheden bevatte, werd bij verschillende temperaturen onderzocht terwijl het met ultraviolet of met katodestralen werd geëxciteerd. Er werden verscheidene emissiebanden gevonden.

A 9: F. Kettel: Die Wärmeleitfähigkeit von Germanium bei hohen Temperaturen (Phys. Chem. Solids **10**, 52-58, 1959, no. 1).

Bij halfgeleiders dragen de vrije ladingdragers bij tot het warmtegeleidingsvermogen, het zg. elektronische aandeel, dat theoretisch kan worden berekend. Verscheidene auteurs hebben bij verschillende halfgeleiders het elektronische aandeel langs experimentele weg bepaald en de resultaten vergeleken met de theorie. In een enkel geval was er overeenstemming tussen theorie en experiment, maar meestal waren de experimentele waarden aanzienlijk hoger dan de theoretisch verwachte. De auteur heeft het elektronische aandeel gemeten bij germanium bij hoge temperaturen en vindt een waarde die ca. 4× zo groot is als de theorie voorspelt. Hij beschrijft de experimenten en de resultaten en wijdt enige beschouwingen aan de afwijking tussen experiment en theorie.

A 10: A. Goertz: Zur Theorie der diffusen Reflexion und Transmission beim Vorliegen elastischer Vielfachstreuung (Z. Physik **155**, 263-274, 1959, no. 3).

Een mathematische verhandeling die betrekking heeft op de doorgang van deeltjes (elektronen, fotonen) door een medium tussen twee evenwijdige platen, bij loodrechte inval. De invallende deeltjes worden verstrooid gedacht door elastische wisselwerking met de deeltjes van het medium. Beschouwd wordt het geval waarbij een aankomend deeltje gemiddeld meer dan één keer een dergelijke wisselwerking ondergaat (veelvoudige verstrooiing). De schrijver toont aan dat men de differentiaal-integraalvergelijking die de veelvoudige verstrooiing beschrijft, niet volledig behoeft op te lossen indien men aanneemt dat er geen deeltjes in zijwaartse richting verdwijnen. Het probleem kan dan herleid worden tot twee simultane differentiaalvergelijkingen van de eerste orde. Uit deze vergelijkingen volgen dan vanzelf uitdrukkingen voor de reflexie- en de doorlatingscoëfficiënt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!